

Arto Hiltunen

## **POLANNEMURTAJAN KUMITUKSEN MUUTOSTYÖ**

## **POLANNEMURTAJAN KUMITUKSEN MUUTOSTYÖ**

Arto Hiltunen  
Opinnäytetyö  
Kevät 2015  
Kone- ja tuotantotekniikan koulutusohjelma  
Oulun ammattikorkeakoulu

# TIIVISTELMÄ

Oulun ammattikorkeakoulu  
Kone- ja tuotantotekniikan koulutusohjelma

---

Tekijä: Arto Hiltunen

Opinnäytetyön nimi: Polannemurtajan kumituksen muutostyö

Työn ohjaaja: Matti Broström

Työn valmistumislukukausi- ja vuosi: kevät 2015

Sivumäärä: 40 + 0 liitettä

---

Sah-Ko Oy:n toimeksiannosta tehtiin suunnitelma polyuretaanituotteiden valmistuksessa tarvittavasta muotista. Toimeksiantaja haluaa siirtyä käyttämään aiempaa edullisempaa valmistusvaihtoehtoa polannejyrsimiensä kumista valmistetuille elastisille osille. Opinnäytetyössä suunniteltiin polyuretaanituotteen valmistuksessa tarvittava ruiskuvalumuotti.

Tässä opinnäytetyössä tutustuttiin polyuretaaniin materiaalina ja polyuretaanin valmistustekniikoihin, polyuretaanituotteiden kierrätykseen ja loppukäsittelyyn sekä polyuretaanisien osien soveltuvuudesta polannekoneeseen. Opinnäytetyössä tutustuttiin lisäksi tuotteen suunnitteluun, mallintamiseen ja valmistuskuvien tekemiseen sekä polyuretaanituotteen valmistuksessa käytettäviin muotteihin ja muoteissa käytettäviin teknisiin ratkaisuihin.

Opinnäytetyössä suunniteltiin ja mallinnettiin muotti, jolla valmistetuilla tuotteilla voidaan korvata kumista valmistetut osat polyuretaanisilla osilla. Käytettäessä polyuretaania raaka-aineena osien valmistukseen tarvitaan muotti, johon nestemäinen polyuretaani ruiskutetaan. Muotti antaa valettavalle kappaleelle sen lopullisen muodon. Muotti suunniteltiin käyttäen Autodesk Inventor -3D-CAD-ohjelmistoa. Muotista laadittiin 3D-mallit, piirustukset sekä tarvittavista osista polttoleikkaus- ja koneistuskuvat. Lopputulokseksi saatiin valmistuskuvat PUR-ruiskutusmuotille, joka on valmistettavissa Sah-Ko Oy:stä löytyvillä resursseilla kohtuullisilla kustannuksilla. Polyuretaani on kumia edullisempi valmistusmateriaalivaihtoehto elastisille osille.

---

Asiasanat: polyuretaanimuotti, reaktiruiskuvalu (RIM), polyuretaani

## ABSTRACT

Oulu University of Applied Sciences  
Mechanical and Production Engineering

---

Author: Arto Hiltunen

Title of thesis: Modifying Rubber Elements of Ice Breaker

Supervisor: Matti Broström

Term and year when the thesis was submitted: spring 2015      Number of pages: 40 + 0 appendices

---

The purpose of this thesis was to enable a more affordable alternative for the rubber elements the roller system of Raiko ice breakers, which are manufactured by Sah-Ko Oy. An injection mold which is needed for manufacturing polyurethane products was designed.

This thesis introduces polyurethane as a material and manufacturing of polyurethane as well as recycling and disposal of polyurethane products. In addition, the compatibility of polyurethane parts for the ice breaker is discussed. Concentrate on the designing, modeling and manufacturing drawings of the product, too, as well as the molds used in the manufacturing of polyurethane and their technical solutions.

In this thesis, a mold was designed and modeled, which could be used to replace parts made of rubber by parts made of polyurethane. When manufacturing those parts of polyurethane a mold is needed into which the liquid polyurethane is injected. The mold was designed using the Autodesk Inventor 3D-CAD-software. The drawings and 3D-models as well as the production drawings needed in flame cutting and machining were drawn up of the mold. As a result, the manufacturing drawings of the PUR-injection mold were made which make it possible for Sah-Ko Oy to manufacture that mold with reasonable costs. It also enables manufacturing of a less expensive alternative for the elastic parts produced of rubber.

---

Keywords: Polyurethane mold, reaction injection molding (RIM), polyurethane

## SISÄLLYS

1 JOHDANTO.....	8
2 SAH-KO OY.....	10
3 POLYURETAANI .....	12
3.1 Polyuretaanituotteita.....	13
3.2 Polyuretaanituotteet ja työturvallisuus.....	14
3.3 Polyuretaanin kierrätys.....	15
4 VALMISTUSTEKNIIKAT POLYURETAANITUOTTEILLE .....	17
4.1 Matalapainetekniikat.....	17
4.2 Korkeapainetekniikka .....	17
5 TUOTTEEN SUUNNITTELUPROSESSI .....	21
5.1 Tuotteen mallinnus .....	22
5.2 Tuotteen valmistuskuvat .....	24
6 RUISKUVALUMUOTIT .....	27
7 MUOTINSUUNNITTELUN YKSITYSKOHDAT JA RATKAISUT .....	29
7.1 Kulutuskestävyys ja lujuustarkastelu .....	29
7.2 Lämmönhallinta .....	30
7.3 Muotin muotoilu .....	31
7.4 Päästöt ja kulmat.....	32
7.5 Jakotaso.....	32
7.6 Muottipuolikkaiden ohjaus ja kiinnitys valukoneeseen .....	33
7.7 Valmistustarkkuus sekä pinnanlaatuvaatimukset ja irrotusaineet.....	35
7.8 Valmistuskustannusten huomioiminen.....	36
8 YHTEENVETO .....	38
LÄHTEET.....	39

## SANASTO

Autodesk Inventor	sunnitteluohjelmisto osien, laitteistojen ja piirustusten laatimiseen
CAD	computer-aided design, tietokoneavusteinen suunnittelu, johon kuuluu 2D-piirtäminen, 3D-mallinnus
CNC	computerized numerical control, tietokoneistettu numeerinen ohjaus
dynaaminen kuormitus	iskumainen tai vaihteleva kuormitus
hydrofiilinen	molekyylin ominaisuus, jonka vuoksi se liukenee veteen tai muuhun pooliseen liuottimeen
hydrofobinen	vettä hylkivä, vettä poistyöntävä, vesipakoinen
isosyanaatit	nestemäisiä yhdisteitä, jotka valmistetaan amiineista fosgenoimalla
keerna	valumuotin sisäosa, joka muodostaa muotonsa mukaisen onkalon valukappaleeseen.
part	osa, on yksittäinen kappale 3D-ohjelmassa.
polyolit	useamman kuin yhden hydroksyyli ryhmän (-OH) sisältäviä alkoholeja
PUR	polyurethane, polyuretaani
purse	puristus- tai valukappaleissa muotin osien liitoskohtiin jäävä liika aine.

pusla	joustava holkki esimerkiksi auton tukivarren ja sen kiinnityspultin välissä.
RIM	reaction injection molding, reaktioruiskuvalu
RST	ruostumaton teräs
2D-piirros	kaksiulotteinen (engl. 2-dimensional). 2D-piirros sisältää kaksi ulottuvuutta, eli pituuden ja leveyden.
3D-mallinnus	kolmiulotteinen (engl. three dimensional) on tietokonemallinnus, joka on mallinnettu kolmen tilaulottuvuuden suhteen.

# 1 JOHDANTO

Tässä opinnäytetyössä mahdollistetaan edullisempi vaihtoehto kumista valmistettujen polannekoneen elementeille. Korvaaminen tapahtuu polyuretaanista valmistetuilla osilla. Työssä tutustutaan polyuretaaniin ja polyuretaanista valmistettaviin tuotteisiin. Tutustutaan valmistusmenetelmiin, joilla polyuretaanista valmistetaan tuotteita, polyuretaanin kierrätettävyyteen ja loppukäsittelyyn. Työssä tutustutaan myös ruiskutusmuotin suunnitteluun, mallinnukseen sekä valmistuskuvien tekemiseen, joilla ruiskutusmuotti on valmistettavissa. Raiko-polannekoneita valmistaa oululainen Sah-Ko Oy.

Aluksi tutustutaan polyuretaaniin materiaalina ja polyuretaanin valmistustekniikkoihin, polyureaanituotteiden kierrätykseen ja loppukäsittelyyn sekä valmiiden tuotteiden soveltuvuudesta polannekoneeseen. Tutustutaan yleisesti tuotteen suunnitteluun, mallintamiseen ja valmistuskuvien tekemiseen. Myös polyureaanituotteen valmistuksessa käytettäviä muotteja ja muoteissa käytettäviä teknisiä ratkaisuja esitellään.

Opinnäytetyössä suunnitellaan ja mallinnetaan muotti, jolla valmistetuilla tuotteilla voidaan korvata kumista valmistetut osat polyuretaanisilla osilla. Polyuretaanista osat valmistettaessa tarvitaan muotti, johon nestemäinen polyuretaani ruiskutetaan. Laadukkaan muotin valmistamiseksi tulee ymmärtää koko tuotteen valmistusprosessi. Kohdeyritys on konepajayritys, joten on järkevää lähteä suunnitelmissa siltä pohjalta, että muotti on valmistettavissa yrityksestä löytyvillä resursseilla.

Monimuotoisten kappaleiden valmistuksessa käytettävien muottien hinta nousee lähes 100 000 euroon, kun ne teetetään muottien valmistukseen erikoistuneessa yrityksessä. Muotin valmistukseen ei ole kannattavaa sijoittaa näin suurta summaa rahaa, koska osien kappalekohtainen menekki vuosittain on kuitenkin rajallinen. Muotin valmistuskustannukset saadaan pysymään siedettävänä, kun sen suunnittelu ja valmistus toteutetaan kustannukset tiedostaen.

Muotin valmistuttua ja koe-eristä saatavista kokemuksista selviää, millaisella muotilla kappaleiden valmistus on mahdollista sekä miten uretaanista valmistetut osat soveltuvat kohteeseen ja kuorimukseen kyseisissä olosuhteissa. Tarkoitus on laittaa koe-erä muotilla valmistettuja osia koe-käyttöön ja testeihin käytännön olosuhteisiin. Muotin tulisi olla edullinen. Muotin tulisi olla myös



ominaisuuksiltaan sellainen, että se soveltuu osien tuotantoon pitkäksi ajaksi, mikäli kyseinen valmistustapa ja materiaali ovat käyttöön soveltuvia ja muutos tuo taloudellisemman tavan toimia.

Muotti suunnitellaan käyttäen Inventor 3D-CAD-ohjelmistoa. Kyseisen ohjelmisto valittiin, koska ohjelmistoa käytettiin opintojen aikana muutamissa projekteissa sekä opintojaksoissa. Muotista laadittiin 3D-mallit, piirustukset ja tarvittavista osista polttoleikkaukset. Lopputulokseksi saatiin valmistuskuvat PUR-ruiskutusmuotille ja kumia edullisempi valmistusvaihtoehto piikkipyörästä elastisille osille.

Tässä opinnäytetyössä keskitytään pääasiassa tiedonhankinta- ja kehitysosioon. Konkreettinen työn tuotos on valmistuskuvat, joilla ruiskuvalumuotti on valmistettavissa. Valmistuskuvat, joita on 11 kappaletta, on luovutettu Sah-Ko Oy:n käyttöön ja ne ovat pääosin salaisia, joten niitä ei esitellä tässä opinnäytetyössä tarkasti.

## 2 SAH-KO OY

Sah-Ko Oy on konepaja ja teollisuuden kunnossapitoyhtiö, joka on perustettu vuonna 1955. Sah-Ko Oy:n palvelutarjontaa ovat konepajavalmistus, teollisuuden kunnossapito, putkihitsaus, putki-asennus sekä metallinmyynti. Sah-Ko Oy:n asiakkaita ovat muun muassa teräs-, paperi-, sellu-, kaivannais- ja kemianteollisuudesta sekä voimalaitokset. Sah-Ko Oy on täydenpalvelun keskiras-kas konepaja, joka on erikoistunut vaativien hitsattujen ja koneistettujen teräsrakenteiden sopi-musvalmistukseen. Tuotanto sisältää metallintyöstöprosessit valmiiksi tuotteeksi asti. (1.)

Konepajapalvelu sisältää sahaukset, levyjen mekaanisen sekä termisen leikkaamisen ja mahdol-lisuuden levyjen särmäykseen sekä mankelointiin. Hitsausosastolla on robotti, manuaalityöpitei-tä sekä erillinen RST-hitsaamo. Koneistamossa on manuaalikoneita sekä CNC-koneita. Sah-Ko Oy tarjoaa myös lämpökäsittely-, teräsräpuhallus-, märkämaalauspalveluja sekä kone- ja laite-asennuksia. Sah-Ko Oy:n omia tuotteita ovat Raiko-tuotenimellä valmistettavat Raiko-polannemurskain sekä Raiko-vesakonraivain. (1.) Sah-Ko Oy:n yhteistyökumppanina kumituksen muutoksen kehitystyössä on ollut Muhoslainen Hydnum Oy. Hydnum Oy:n päätuotteita ovat poly-uretaanista valmistettavat ajoneuvojen ohjaamojen matot. PUR-matto valmistetaan suljetussa muotissa (kuva 1) nestemäisistä raaka-aineista. (2.)



KUVA 1. PUR-mattojen valmistusta Hydnum Oy:ssä (2)

## Raiko-polannemurtaja

Sah-Ko Oy:n valmistamat Raiko-polannemurtajat ovat työkaluja katujen ja muiden kulkuväylien talvi- ja kesäkunnossapitoon. Laitteen tehokkuus perustuu joustavaan ja vapaasti pyörivään erikoispiikein varustettuun elastiseen rullastoon, joka rikkoo jääpeitteen tienpintaa vasten painettaessa. Rullasto jättää jälkeensä tasaisen ja karheen tienpinnan yhdessä terän kanssa, jolloin myös liikenneturvallisuus paranee. Laite ei vahingoita jäistä asfalttia tai tien pintaa. Taajamissa työkenneltäessä vältetään liikenneturuhkien syntyminen, koska Raiko-polannemurtaja irrottaa jääpö-lanteen jopa yhdellä ajokerralla 40 km:n nopeudella. Kesäisin laitetta voidaan käyttää kelirikkotei-den korjaukseen sekä sorateiden kunnossapitoon. (3.)

Raiko-polannemurtajat (kuva 2) voidaan kiinnittää kuorma-autoihin, liikennetraktoreihin, monitoi-mikoneisiin sekä pyöräkuormaajiin. Raiko-polannemurtajien hankinta- ja käyttökustannukset ovat kilpailukykyisiä verrattuna muihin käytössä oleviin menetelmiin. (3.)



KUVA 2. Raiko-polannejäänmurtaja (3)

### 3 POLYURETAANI

Polyuretaanit on yleisnimitys suurelle ryhmälle muoveja, joiden ominaisuudet eroavat toisistaan suuresti. Polyuretaanit työstetään lähes aina vähintään kahdesta komponentista. Polyuretaanit voivat olla huokoisia ja vaahtomaisia tai kimmoisia ja kumimaisia materiaaleja. (4, s. 68.) Polyuretaanin valmistuksen peruslähtöaineita ovat isosyanaatti ja polyoli. Lisäksi tarvitaan erilaisia lisäaineita sekä apuaineita. Polyuretaanin ominaisuudet riippuvat pääasiassa käytetystä polyolista. Apuaineiden tehtävä on lähinnä reaktion ohjaus. (5.)

Polyuretaanin ominaisuuksia säädetään muuttamalla molekyyliarakennetta. Olennaisimmat ominaisuudet muodostuvat pintarakenteesta, tiheydestä, hydrofiilisyydestä tai hydrofobisuudesta, loppukäyttöominaisuuksista ja jalostusominaisuuksista. Jalostusominaisuudet tarkoittavat polyuretaanin muovailtavuutta. Tämä tarkoittaa sitä, että onko materiaali kertamuovi eli haaroittunut rakenne vai kestumuovi eli lineaarinen rakenne. (6, s. 13–14.)

Polyuretaanin ominaispiirteitä ovat suuri vetolujuus sekä murtovenymä, joustava myös alhaisissa lämpötiloissa, hyvä kulutuksenkestävyys, vaimentaa hyvin iskuja, kestää öljyä ja rasvaa sekä bensiiniä, eikä se läpäise otsonia eikä UV-säteilyä. Polyuretaani kestää myös biologista korroosiota hyvin. (7.) Myöskään pieneliöt esimerkiksi jyrsijät eivät ole kiinnostuneita polyuretaanimateriaalista (8).

Polyuretaanin käyttölämpötila-alue on melko suuri:  $-40...+80\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Tällä lämpötila-alueella elastiset ominaisuudet pysyvät lähes muuttumattomana. Voimakkaan dynaamisen kuormituksen olosuhteissa on hyvä tietää, että materiaali kestää korkeita lämpötiloja hystereesin eli sisäisen kitkan vuoksi. (7.)

Elastomeeri venyy vähintään kaksinkertaiseksi. Materiaali ei repeä tällaisessakaan rasituksessa ja se venyttämisen jälkeen palautuu alkuperäisiin mittoihinsa. Yleisimpiä elastomeerejä ovat polyuretaani, polyurea, akryyli sekä monet kumilaadut. Elastomeerin kovuus ilmoitetaan Shore A-asteikolla. Jäykkyys kasvaa materiaalin kovuuden mukaan. (7.)

PUR:n ominaispiirteitä ovat

- suuri vetolujuus ja murtovenymä

- hyvä kulutuksenkestävyys
- joustavuus myös alhaisissa lämpötiloissa
- hyvä iskunvaimennus
- suuri kitkakerroin
- öljyn-, rasvan- ja bensiininkestävyys
- yksinkertaisen valumenetelmän ansiosta myös suurten ja monimutkaisten kappaleiden valmistus edullista. (7.)

### 3.1 Polyuretaanituotteita

Polyuretaanituotteita (taulukko 1) on olemassa monia erilaisia: pehmeitä, kovia, puolikovia ja maaleja. Niitä valmistetaan ja käytetään esimerkiksi valettuina, puristettuina ja ruiskutettuina tarpeen mukaan. Teollisuudessa käytetään pääasiassa kovia polyuretaanituotteita hyvän kulutuksenkestävyyden takia, mutta myös pehmeitä joustavuuden vuoksi. (9.)

*TAULUKKO 1. Esimerkkejä polyuretaanien käyttökohteista eri aloilla (12)*

Rakennusala	lämpö- ja äänieristyslevyt, kaukolämpöputkien eristys, ikkuna- ja ovipuitteet, tiivisteet, viemäriputkien saneeraus, saumausvaahdot, lattiapäällysteet, liimat, maalit ja lakat
Kotitalous	patjat, tyyny, huonekalujen rungot, pehmusteet ja päällysteet, kylmäkoneiden eristeet, elektroniset erikoissovellukset
Kuljetusala	autojen puskurit, lasitiivisteet, autojen sisäosat, lentokoneen osia, veneiden kellekkeet, pelastusliivit, pelastusveneet, nostokölit
Urheilu	pallot, mailat, sukset, lumilaudat, rullaluistimet, suojavälineet, säänkestävät vaatteet, jalkineet, pulssimittarit, polkupyörän satulat
Lääkintäala	keinohiho ja suonet, implantaatit, kipsit, katetrit, endoskoopit, sydämen apulaitteet, hygieniatuotteet
Teollisuus	vyöt, letkut, elastiset langat, kaapelipäällysteet, keernat, teräksen suojaus, kalvot, kuljettimet, tiivisteet, suodattimet, suojakypärät ja käsineet
Autokorjaamot	maalit, lakat, liimat, tiivistys- ja saumausmassat, alustamassat, muoviosat, vaahdotuovi, uretaanikumi, pehmusteet

Polyuretaanin useat valmistusmenetelmät sekä valmistuksessa käytettävät kemikaalit mahdollistavat polyuretaanin monimuotoisuuden ja monikäyttöisyyden. Polyuretaanin ehkä tunnetuin käyttökohde on erilaiset eristeet polyuretaanin hyvän lämmöneristävyyden vuoksi. Autoteollisuuteen polyuretaanista valmistetaan esimerkiksi puslia, spoilereita sekä kuitulujitteisia puskureita. (10, s. 50–51.)

Usein auton alkuperäiset puslat on valmistettu kumiseoksesta, jolla on taipumus iän myötä muuttua pehmeäksi. Esimerkiksi Powerflex tuotemerkillä myytävät polyuretaanista valmistettavat puslat mahdollistavat 25–30 % jäykemmän rakenteen muiden ominaisuuksien silti kärsimättä. Autojen alustojen puslat joutuvat kovan rasituksen alaiseksi. Puslien käyttötarkoituksena on vaimentaa tukivarsien sekä muiden alustan osien kuormituksen siirtymisen autonkoriin. Puslien on oltava niin joustavia, että ne vaimentavat terävät iskut, mutta oltava riittävän kovia estämään ei toivotut pyörän liikkeet, ja kestettävä rasituksia useita vuosia. (11.)

Voidaan päätellä, että polyuretaani on monikäyttöinen materiaali ja mitä todennäköisimmin käy Raiko-polannemurskaimen rullaston elastiseksi elementiksi. Käyttökohteen olosuhteet sekä kuormitukset ovat hyvin samanlaiset kuin esimerkiksi autojen alustoissa käytettävät puslat, myös alustojen puslat on alkujaan valmistettu kumista, mutta on päädytty korvaamaan niitä polyuretaanisilla osilla.

### **3.2 Polyuretaanituotteet ja työturvallisuus**

Sosiaali- ja terveysministeriön asetuksessa vaarallisten aineiden luettelosta (624/2001), isosyanaatit luokitellaan hengitysteitä ja ihoa herkistäviksi ja ärsyttäviksi yhdisteiksi sekä myrkyllisiksi tai haitallisiksi hengitettynä. Isosyanaateille voi altistua polyuretaanituotteiden valmistuksessa tai niiden työstössä. (13.)

Työhön, jossa isosyanaatteja tai äskettäin sekoitettua polyuretaanimassaa voi roiskua vaatteille, on käytettävä kemikaalinsuojavaatteita. Isosyanaatit imeytyvät tavanomaisiin vaatteisiin ja iho altistuu vaatteiden kautta. Suojaamattoman ihon altistuminen on estettävä. Kemikaalinsuojakäsineet tarvitaan aina isosyanaattien käsittelyyn. Työntekijät on perehdytettävä huolellisesti raaka-aineiden haittavaikutuksiin sekä työtapoihin, joilla voidaan vähentää iho- ja hengitystiealtistumista työprosessien isosyanaateille. Vastakovettuneeseen polyuretaanituotteeseen ei saa koskea paljain käsin. (13.)

Henkilökohtaisten suojainten käytöstä huolimatta ei voi laiminlyödä tehokkaan ilmanvaihdon järjestämistä ja kemikaalikosketuksia tulisi välttää. Suojaimia tulee käyttää koko ajan, jos altistumista ei muilla toimenpiteillä saada riittävästi vähennettyä. Suojaimia huolletaan, säilytetään ja poistetaan käytöstä käyttöohjeiden mukaan. Huonokuntoiset ja likaiset suojaimet voivat jopa altistaa enemmän, kuin työn tekeminen ilman suojaimia. Jos työssä esiintyy roiskeiden vaaraa, on käytettävä silmien- tai kasvojen suojaimia. (13.)

### 3.3 Polyuretaanin kierrätys

Käyttötarkoituksestaan poistuttuaan polyuretaanit voidaan käyttää uudelleen joko ottamalla niiden lämpöenergia talteen tai käsitellään jätettä niin, että se voidaan käyttää uusien tuotteiden valmistuksessa uuden raaka-aineen seassa. Lämpöenergian talteenotto on materiaalin loppukäsittelyä. Koska polyuretaaneja pystytään suhteellisen taloudellisesti kierrättämään, käydään tässä seuraavaksi läpi jätteenkäsittelyä uudelleenkäyttöä varten, mikä on järkevämpi ja kestävämpi vaihtoehto kuin materiaalin loppukäsittely. (14, s. 10.)

Polyuretaanien kierrätys uudelleen käytettäväksi tehdään pääosin kahdella tavalla. Kierrätettävät polyuretaanituotteet jauhetaan mekaanisesti ja käytetään uusien tuotteiden prosessoinnissa puristemassana tai täyteaineena polyolien seassa, tai saatu jauhe voidaan hajottaa kemiallisesti lähtöaineiksi ja käyttää uusioraaka-aineena. (14, s. 10.)

Täyteenä käytettävän jauhetun uretaanin rouhekoko määräytyy sovelluksen mukaan, Rouhittu polyuretaanijäte voidaan puristaa lämmön ja suuren paineen avulla uusiotuotteeksi, silloin voidaan käyttää suurehkoa, halkaisijaltaan jopa 10 mm rouhetta. Uusiotuotteena saatu puriste painaa n. 180 kg/ m<sup>3</sup>, kun lähtötuotteen massa on ollut n. 30–40 kg/ m<sup>3</sup>. Jauhettua materiaalia voidaan käyttää täyteenä myös reaktioruiskuvalu tuotteissa. Rouhekoon tulee olla pientä, alle 0,2 mm. Jauhe sekoitetaan muiden ainesosien kanssa korkeaviskositeettiseksi nesteeksi ja sekoitetaan valettaessa uusiin raaka-aineisiin. (14, s. 12–18.)

Kemiallisessa käsittelyssä polyuretaanijäte jauhetaan noin 0,001-4 millimetrin rouhekokoon ja hajotetaan alkuaineiksi paineen, lämmön ja reagoivien aineiden avulla. Menetelmissä käytettävät lämpötilat ja paineet vaihtelevat suuresti ja ovat noin 180–430°C ja paine 0–370 bar. (14, s. 12–18.) Kierrätykseen tulee todennäköisesti tulevaisuudessa tiukempia lainsäädännöllisiä velvoitteita

ja säädöksiä. On järkevää jo hyvissä ajoin selvittää tapoja, miten voidaan vähentää tuotannossa syntyvää jätettä, tehostaa raaka-aineen uudelleenkäyttöä sekä kierrätystä. Jätteen polttamisen sijaan olisi hyvä olla muitakin vaihtoehtoja ainakin siinä vaiheessa, kun jätettä kaatopaikalle ei saa enää toimittaa nykyisellä mallilla.



## 4 VALMISTUSTEKNIIKAT POLYURETAANITUOTTEILLE

Reaktioruiskuvalu eli RIM (Reaction Injection Molding) on valmistustekniikka, joka on kehitetty pääasiassa polyuretaanikappaleiden valmistamiseen. Kyseisessä valumenetelmässä muottiin ruiskutetaan raaka-aineet, jotka reagoivat keskenään muodostaen valettavan tuotteen. Reaktioruiskuvalumenetelmä on kehitetty pääasiassa polyuretaanituotteiden valmistukseen, mutta sitä käytetään myös polyamidien ja hartsien valmistuksessa. (15.) Reaktioruiskuvalumenetelmät voidaan jakaa kahteen eri valmistustekniseen ryhmään eli matala- ja korkeapainetekniikoihin.

### 4.1 Matalapainetekniikat

Matalapainemenetelmissä valuja toteutetaan kahdella eri tavalla. Yksinkertaisemmassa tekniikassa annostellaan raaka-aineet avoimeen muottiin, ja suljetaan muotti tuotteen muodostumisen ajaksi. Tätä tapaa käytetään yleisimmin vaahtomaisten kappaleiden valmistuksessa. Toisessa menetelmässä ruiskutetaan sekoitetut raaka-aineet alhaisella paineella suljettuun muottiin. Ruiskutuspuheen alhaisuuden vuoksi muotti täyttyy hitaasti ja muottiin voi jäädä haitallisia ilmataskuja. Muotin täyttymistä edistetään kääntelemällä muottia ruiskutuksen aikana, jolloin ilma pääsee paremmin poistumaan muottipesistä. (16, s. 64.) Muotin hitaan täyttymisen vuoksi seoksen reaktioaika tulee olla pidempi kuin korkeapainetekniikassa, joten menetelmä on hitaampi kuin korkeapainetekniikka.

### 4.2 Korkeapainetekniikka

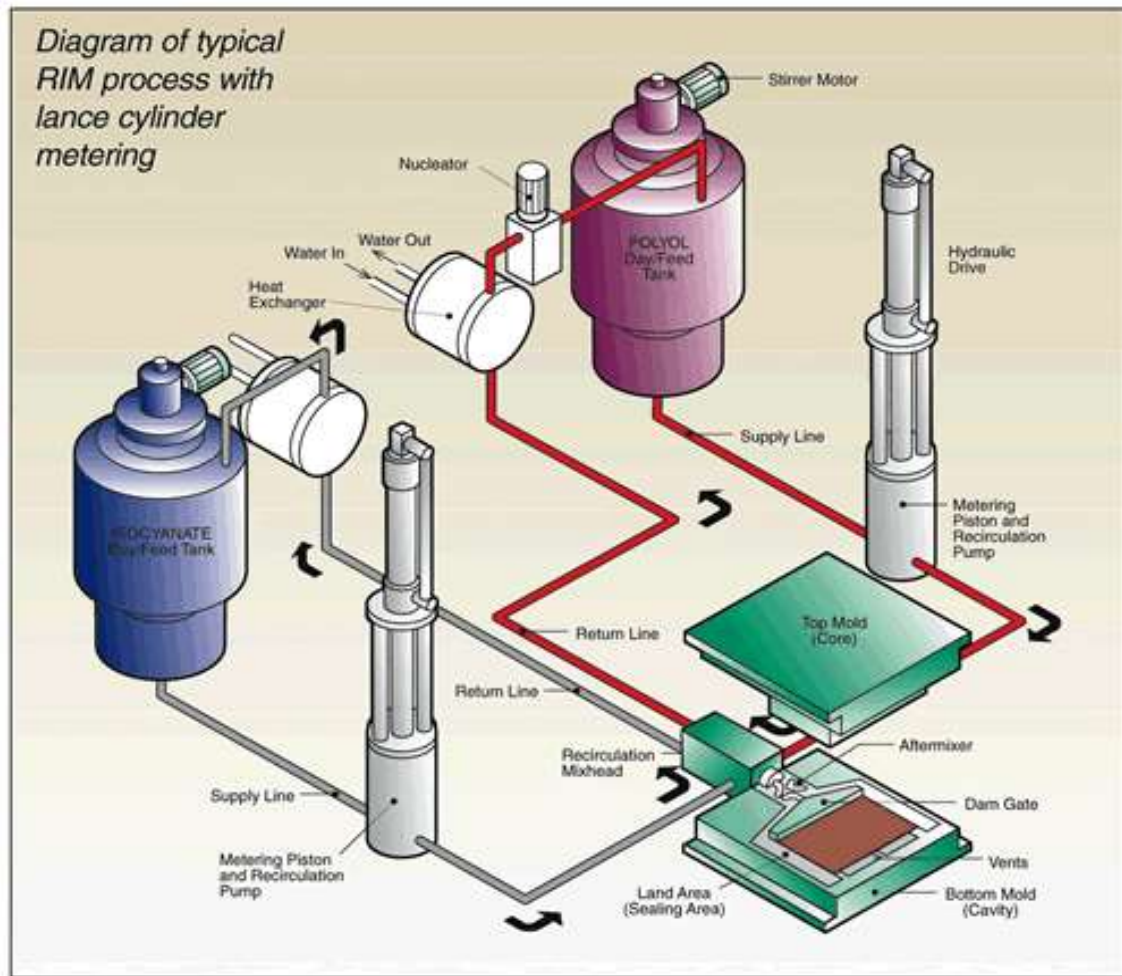
Ruiskupuristus on käytetyin valmistusmenetelmä kappalemaisille muovituotteille. Alussa sitä käytettiin kestopuovien valmistuksessa, viime aikoina yhä useammin myös kertamuoveja on alettu valmistaa ruiskupuristamalla. Kestomuoveja valmistettaessa muotti on yleensä jäähdytetty, kertamuoveille lämmitetty, koska kertamuovien kovettumisreaktio edellyttää korkeaa lämpötilaa. Ruiskupuristuksen etuja ovat nopean muotin täyttymisen vuoksi lyhyt jaksoaika, automaattinen työjakso sekä puristeiden vähäinen jälkikäsitteilytarve. Ruiskutuspuineet ovat kestopuoveilla 800–2 500 bar. Kertamuoveilla yleensä yli 2 000 bar. Varsinaiseen puristeeseen kohdistuva paine on virtaushäviöiden takia vain noin puolet ruiskutuspuineesta. (17, s. 277.)

Reaktioruiskuvalu tekniikassa lähtöraaka-aineita ovat isosyanaatti ja polyoli, jotka reagoivat keskenään kemiallisesti muodostaen polyuretaanin. Isosyanaatti- ja polyolilaatuja on erilaisia, ja eri laaduilla uretaanille saavutetaan erilaisia koostumuksia. Isosyanaatin ja polyolin reaktionopeuden määräävät seoksessa käytettävät aktivointiaineet sekä raaka-aineet. Aktivointiaineita käyttämällä suurikin seosmäärä saadaan jähmettymään jo muutamassa sekunnissa. (10, s. 175–176.)

Reaktioruiskuvalu-menetelmästä on kehitetty myös kuitulujitteisia menetelmiä, joissa polyuretaanituotteen lujuusominaisuuksia on saatu parannettua. Kuitulujitteiset menetelmät ovat SRIM eli Structural Reaction Injection Molding, jossa valmiiksi muovatut lujiteaihiot sijoitetaan muottiin. Toinen menetelmä on RRIM (Reinforced Reaction Injection Molding), jossa lujiteaineena käytetään yleensä lasia, jota on noin viidesosa materiaalista. (10, s. 175–176.)

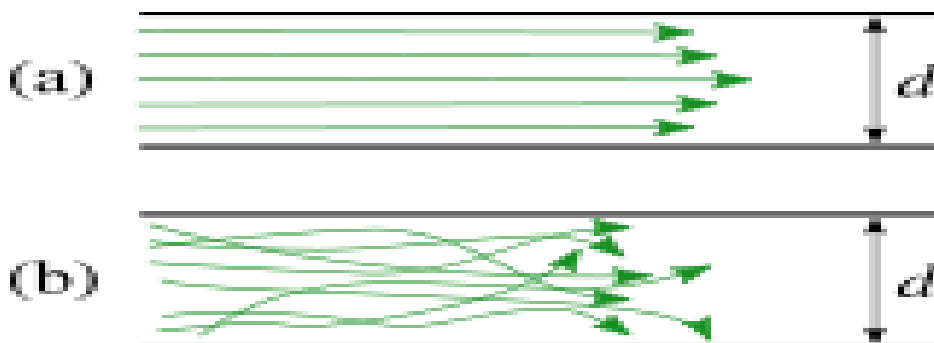
Nestemäinen isosyanaatti ja polyoli ovat paineistettuina säiliöissään, joista ne ohjataan mittasylintereihin. Mäntätyyppisestä mittasylinteristä puristetaan nesteet suurella paineella sekoittimeen, jossa nestevirrat kohtaavat. Suurella paineella toisiinsa törmäävät nesteet sekoittuvat jo hyvin keskenään. Syntynyt seos johdetaan vielä jälkisekoittajaan, jossa seoksen sekoittuminen edelleen jatkuu ja varmistetaan täydellinen sekoittuminen. Jälkisekoittajasta saatu seos virtaa porttiin ja siitä muottiin. Portin tehtävä on tasoittaa suurella paineella etenevän seoksen virtausta. Seoksen pitää virrata muottiin laminaarisesti, silloin muotti täyttyy tasaisesti ja ilmakuplien syntymiseltä vältytään. Portin oikealla muotoilulla vaikutetaan myös muotin eri osien täyttymiseen, mikä voi olla olennaista monimuotoisia kappaleita valmistettaessa. (16, s. 53–55.)

RIM eli reaktioruiskuvalussa laitteistolla (kuva 3) paineistetut nestemäiset raaka-aineet syötetään sekoittajaan ja siitä edelleen jälkisekoittajan lävitse lämpösäädelyyn muottiin. Materiaalin polymeroituminen eli muovin muodostuminen, tapahtuu massan muottiin ruiskuttamisen jälkeen. Menetelmä edellyttää käytettävältä materiaaalilta suurta polymeroitumisnopeutta. Valoksen onnistumisen kannalta työmenetelmän tärkeimmät tekijät ovat lämpötila, paine ja irrotusaine. (15.)



KUVA 3. Reaktioruiskuvalu laitteiston periaatekuva pääkomponentteineen (18)

Sula materiaali käyttäytyy muotin sisällä edetessään nesteen tavoin. Nesteet voivat virrata putkis- toissa ja niihin verrattavissa olosuhteissa kahdella tavalla: laminaarisena eli suuntaisvirtauksena ja turbulenttina eli pyörteisvirtauksena. Suuntaisvirtauksessa (kuva 4) aineen hiukkaset liikkuvat yhdensuuntaisesti putkenseinämien mukaan. Pyörteisvirtauksessa hiukkaset liikkuvat heilahdel- len putkenseinämien ja keskustan välillä. (19.)



KUVA 4. Virtaustavat, joista a esittää laminaarista virtausta ja b pyörteisvirtausta (19)

Korkeapainetekniikan olennaisin eroavaisuus matalalla ruiskutuspaineella toimivaan tekniikkaan on muotin täyttymistapa. Matalapainetekniikassa muotin täytyminen ja ilman poistuminen edellyttää muotin kääntelyä ruiskutusvaiheen aikana. Korkeapainetekniikassa täytyminen onnistuu ilman muotin kääntelyä. Muotin hallittu täytyminen perustuu seoksen viskositeettiin, muotin nopeaan täyttymiseen, suureen ruiskutuspaineeseen ja muotissa olevan kaasun aiheuttamaan vastapaineeseen. Seoksen oikea viskositeetti ja laminaarinen virtaus ovat avaintekijöitä muotin täydelliselle täyttymiselle. (20, s.13.)

Nesteiden sekoittamisen jälkeen seoksen viskositeetti muuttuu aktivointiaineiden avulla jähmeäksi, silloin seos voi virrata muotissa laavamaisesti. Kookaskin muotti voidaan täyttää jopa muutamassa sekunnissa suuren ruiskutuspaineen ansiosta. Muotissa oleva kaasu poistuu muotista jakotasolle työstettyjen ilmanpoistokanavien kautta. Ilmanpoistokanavien pinta-alalla säädetään muotiin syntyvän vastapaineen suuruutta. Alhainen vastapaine voi aiheuttaa syöttökanavan yläpuolisten muotojen vajaata täyttymistä. Sopivan vastapaineen ansiosta seos täyttää muotin tasaisesti etenevänä rintamana. Raaka-aineita kierrätetään omissa järjestelmissään ruiskutussykliä välillä sopivan lämpötilan ylläpitämiseksi sekä nestemäisten raaka-aineiden saostumisen välttämiseksi. Polyuretaanin jähmettyminen pisteeseen, jolloin tuote voidaan poistaa muotista, vaihtelee 0,5–2 minuuttiin riippuen polyuretaaniseoksen kemiallisista ominaisuuksista. (20, s. 13–14.)

## 5 TUOTTEEN SUUNNITTELUPROSESSI

Jotta saataisiin suunniteltua mahdollisimman pitkään kilpailukykyisenä toimiva tuote, on tuotteiden konstruktio ja valmistustekninen suunnittelu tehtävä huolella ennen tuotantoteknistä suunnittelua. Suunnitteluprosessin aikana ei aina voida välttyä tilanteelta, että joudutaan palaamaan suunnittelussa taaksepäin, ja konstruktioa joudutaan joskus jopa muuttamaan riittävän taloudellisen valmistusprosessin saavuttamiseksi. (15.)

Suunnitteluprosessimalleja on useita erilaisia, mutta kaikilla malleilla on sama päämäärä, valmis tuote. Suunnittelu etenee omassa järjestyksessään, kohdaten ongelmia ja niiden ratkaisuja. Suunnitteluprosessissa lähdetään saavuttamaan johdonmukaisesti välivaiheita, kunnes tuote on valmis. Välivaiheen jälkeen seuraa eteneminen seuraavaan vaiheeseen, tai välivaiheiden uudelleen läpikäyminen, jos työn tulos ei ole tyydyttävä. Tällä ehkäistään tuotteen mahdollista puutteellisuutta suunnitteluprosessin loppuvaiheessa. (21, s. 73.)

Suunnittelu alkaa tehtävän selvityksestä jatkuen luonnostelun ja kehityksen kautta viimeistelyyn. Tehtävän selvitysvaiheessa idea tuotteesta esitellään suunnittelijalle. Suunnittelija alkaa keräämään tietoja tuotteelle asetetuista vaatimuksista. Suunnittelija tutustuu esimerkiksi tuotteen tuleviin olosuhteisiin ja ympäristöön johon tuote sijoittuu valmistuttuaan. Tuotteesta kerätyt tiedot vaatimuslistassa ohjaavat suunnittelua koko loppu prosessin ajan. Vaatimuslistaa päivitetään ajoittain, koska työn aikana voi tulla uusia tietoja ja määritteitä. (21, s. 73.) RIM-muotista vaatimuslistaan merkittiin esimerkiksi siirrettävyys, kiinnitettävyys, lämmitettävyys, muotin valmistettavuus, muotin valmistuskustannukset, tuotteiden tuotantoystävällisyys ja valmisteiden laatu.

Luonnosteluvaiheessa voidaan alkaa hahmottelemaan itse tuotetta, kun kaikki tarvittavat tiedot ovat saatavilla. Luonnosteluvaiheessa ei ole tarkoitus saada suunniteltua vielä valmista tuotetta, vaan tutkia erilaisia lähestymistapoja, miten voidaan ratkaista ongelmat ja määrittää tuotteelle ominaisuuksia. Useissa tapauksista rakennetta voidaan tarkastella vasta sen jälkeen, kun se saa ymmärrettävämmän muodon. Tämä edellyttää tarkempaa kuvaa käytettävistä materiaaleista, alustavaa piirustusta kuvaamaan esimerkiksi kokoa ja muotoa ja teknisten ominaisuuksien huomioimista. Näiden vaiheiden jälkeen saadaan arvosteltavaksi ratkaisuperiaate, jossa on otettu huomioon esimerkiksi tavoitteenasettelun ja rajoitusten asettamia ehtoja. Yleensä riittää vapaakäntinen luonnos tai karkeamittakaavainen piirustus. (21, s. 73.)

Kestävä ja menestyksellinen ratkaisu syntyy tarkoituksenmukaisen valinnan avulla, eikä hienouksia korostamalla. Tavallisimmat muutostarpeet luonnostelun jälkeen aiheutuvat yksityiskohdista. Luonnosteluvaiheessa syntyneitä luonnoksia täytyy ajoittain arvostella ja vertailla. Tässä vaiheessa prosessia arvostelussa painotetaan eniten teknisiin näkökulmiin, mutta myös taloudelliset näkökulmat otetaan karkeasti tarkasteluun. Luonnosteluvaiheessa tehdyt huonot päätökset keräytyvät prosessin edetessä kohti loppuvaiheita. (21, s. 73.)

Kehittelyvaiheessa työstetään luonnosteluvaiheista jatkoon päässeitä luonnoksia valmiimmiksi, jolloin lopullinen tuote alkaa hahmottua. Kehittelyvaihe on ratkaisun rakennemuotojen edelleen kehittämistä. Usein joudutaan tekemään rinnakkain useampia alustavia ehdotuksia, jotta päästäisiin eri muunnelmien etuihin ja haittoihin nähden paremmalle tiedontasolle. Kehittelyvaihe päättyy taloudelliseen ja tekniseen arvosteluun. Arvostelussa pyritään saamaan selville parhain ja edullisin vaihtoehto, mutta sitä voidaan kuitenkin vielä parantaa muiden ehdotusten ratkaisujen ideoilla. Ratkaisujen soveltamisella ja arvosteluiden paljastamien puutteiden poistamisella päästään lopulliseen ratkaisuun, ja voidaan tehdä päätös lopullisesta rakennemuotoilusta. (21, s. 176–184.)

Viimeistelyvaiheessa tuotteen kokoonpanorakennetta täydennetään muotoa, osien mitoitusta ja pinnanlaatua koskevilla määräyksillä. Määritellään myös työaineksia sekä valmistusmahdollisuuksia ja tarkastellaan lopullisia kustannuksia. Seuraavaksi tehdään sitovat piirustukset ja muut asiakirjat suunnitelman aineellista toteuttamista varten. Viimeistelyvaiheessa joudutaan usein suorittamaan uudestaan virheiden korjailua, tämä johtaa yleensä aikaisemmin mainittujen työaskeleiden uudelleen läpikäymiseen. Ongelmat löytyvät usein yksityiskohdista. Viimeistelyvaiheen tärkeimpiä painoalueita ovat periaatteen, rakennemuotoilun ja valmistuksen kehittäminen. Nämä ovatkin vuorovaikutuksessa toisiinsa. Valmistusnäkökohdat voivat jo periaatteen määrittämisvaiheessa esittää ratkaisevaa osaa. Myös työaineksen asettamat rajoitukset tai jonkun ratkaisuperiaatteen edellyttämä tilanvaatimus voi vaikuttaa päätöksentekoon tietyn ratkaisuperiaatteen puolesta. (21, s. 458.)

## **5.1 Tuotteen mallinnus**

Mallintaminen tarkoittaa jonkin olemassa olevan ilmiön, asian tai systeemin esittämistä jollain muulla tavoin kuin itsellään. Malleja ovat esimerkiksi kartat ja pienoismallit. Mallintamista tehdään tietokoneilla ja niihin suunnitelluilla mallinnusohjelmilla. Mallinnusohjelmilla valmistetaan erilaisia

virtuaalimalleja niin koneista tai laitteista, tai suuremmistakin kokonaisuuksista. Mallintamisen tuloksena saadut mallit eivät kuitenkaan vastaa todellisuutta kaikin puolin, vaan ovat likiarvoja oikeista objekteista. Mallintamisen edut ovat kuitenkin niin suuret ja epätarkkuudet niin pieniä, että virhemahdollisuudet on hyväksyttävä. Mallintaminen tulee lähes poikkeuksetta huomattavasti halvemmaksi kuin oikean systeemin rakentaminen. Monimutkaisia koneita, isoja rakennelmia ja -laitteita ei kannata alkaa valmistamaan, ennen kuin niistä on luotu periaatemallit. Mallien avulla saadaan helpommin tietää, onko rakennelma tai kone järkevä toteuttaa suunnitellulla tavalla tai yleensäkin mahdollinen toteuttaa. (22.)

Tuotteiden kolmiulotteista suunnittelua kutsutaan 3D-mallintamiseksi. 3D-mallintamisella tarkoitetaan, että mallia tehtäessä se näyttää mahdollisemman paljon siltä kuin se tulee näyttämään todellisuudessa. Kappaleet suunnitellaan kolmiulotteiseen avaruuteen, joka muodostuu y-, x-, ja z-akseleista. Koordinaatisto rakentuu tietokoneennäytölle siten, että y-akseli on pystytasossa, x-akseli on vaakatasossa, ja z-akseli on syvyys suunnan mukainen. Akselien positiiviset suunnat ovat näytöllä ylös, oikealle ja näytöstä katsojaan päin. Tällaista 3D-mallia voidaan muokata ja tarkastella kolmiulotteisena. 3D-mallissa olevat mahdolliset virheet paljastuvat paremmin kuin perinteisessä kaksiulotteisessa mallissa. (23, s. 16–19.)

Paperin ja kynän avulla saa helposti lähtökohdan 3D-suunnittelulle. Paperille piirretään karkea ajatus siitä, millaiseksi tuote tulee. Tässä vaiheessa on myös helpompi hahmotella itse osan/kokonaisuuden toimivuutta. Tästä syntyneestä piirroksesta suunnittelija saa lähtötietoja kyseisen osan mallintamiseen, mutta piirroksessa ei puututa vielä yksityiskohtiin. Pyrkimyksenä on saada suunnitelmaa nopeasti pitemmälle, kun ei tarvitse miettiä yksityiskohtia. 3D-mallin luomisvaiheessa lähdetään luomaan lopullisia osia tuotteeseen. 3D-suunnittelussa on käytössä kahdenlaisia osia: yksittäiset osat eli partit (engl. part) sekä kokoonpanot eli assemblyt (engl. assembly). Osat pyritään mallintamaan siten, että ne voidaan käytännössä valmistaa yhdestä kappaleesta, esimerkiksi levystä leikkaamalla ja jyrsimällä. (24, s 3-7.)

Kokoonpanot ovat kokonaisuuksia, jotka koostuvat yhteen liitetyistä osista. Kun aletaan suunnittelemaan tuotetta, kannattaa se jakaa useaan pienempään kokonaisuuteen eli kokoonpanoon. Suunnittelu on helpommin hallittavissa kun valitaan yksi pienempi kokonaisuus kerrallaan, ja suunnitellaan siihen kuuluvat osat. Tämä osakokonaisuus sitten liitetään pääkokoonpanoon. Tämä toimintatapa helpottaa muutoksien tekemistä ja kokonaisuuksien hallittavuutta. (24, s 24–27.)

Kappaleeseen muutoksia tehtäessä on huomioitava, että muutoksista aiheutuu usein muutostarpeita kappaleen muihinkin mittoihin, ja todennäköisesti myös muihin osiin/kappaleisiin, jotka liittyvät kyseiseen muutokseen. Muutosten hallintaan auttaa versionumero, josta saadaan selville, mikä on viimeisin versio. Projektin alussa tiedostojen nimeämiseen kannattaa uhrata aikaa, sillä kahta samannimistä kappaletta ei kokonaisuuteen saa tulla. Hallittavuutta voidaan parantaa lisäämällä juokseva numero kappaleen tunnistetietoihin. Yksinkertaistakin kappaletta suunniteltaessa on tärkeää ottaa kaikki oleelliset seikat huomioon ja käyttöön heti suunnitteluprosessin alusta alkaen, sillä lopulta tämä tulee auttamaan aikataulun pitämisessä, ja on kokonaisuudessa edullisempi ratkaisu. On hyvä muistaa, että suunnitteluohjelmat ovat työkaluja, ja suunnitteluohjelmaa käyttävä ihminen on se, joka tekee varsinaisen suunnittelun. Hyvä suunnittelija oivaltaa yrityksen kannalta parhaat ratkaisut. Suunnitteluohjelman mekaaninen osaaminen ei tee vielä suunnittelijasta hyvää suunnittelijaa. (24, s. 24–27.)

## **5.2 Tuotteen valmistuskuvat**

Sanotaan, että yksi kuva kertoo enemmän kuin tuhat sanaa. Tekninen piirustus on teknisten asioiden tehokkain esitystapa. Muilla tavoin ei tietoja voida yhtä tarkasti ja tarkoituksenmukaisesti ilmaista. Kun tavoitteena on teollisesti valmistettava tuote, tulee se ensin suunnitella. Suunnittelussa otetaan huomioon tuotteen valmistusmahdollisuudet, toimivuus, käytön ja valmistuksen taloudellisuus jne. Suunnitelmien pohjalta tuotteesta laaditaan valmistuspiirustukset, joiden mukaan valmistuksen ammattihenkilöt tekevät itse tuotteen. Piirustuksen tulee yksikäsitteisesti määrittää esittämänsä, osa, asia tai laite. Piirustuksien pitää olla selviä ja yksiselitteisiä. Vähäiseltäkin vaikuttava virhe tai piirustuksen väärintulkinta johtaa todennäköisesti tuotteen virheelliseen valmistukseen ja taloudellisiin menetyksiin. (25, s. 1.)

Piirustusta tulkitaan mittalukujen ja muotojen avulla. Työpiirustus on kappaleen tai laitteen valmistusohje, jossa on kaikki valmistuksen ja toiminnan tarvitsema tieto selvästi ja yksiselitteisesti esitettynä. Koneenpiirustusopin keskeisen, tärkeän ja sen vaativimman osan muodostaa mitoitus. (25, s. 36) Jotta kappaleiden suunnittelu ja mitoitus voitaisiin suorittaa tarkoituksenmukaisesti, on välttämätöntä, että suunnittelija tuntee valmistusmenetelmät ja valmistuksessa käytettävät koneet sekä työkalut ja työvälineet. Mitä paremmin suunnittelija tuntee valmistusmenetelmät, ja pystyy erittelemään yksittäiset työvaiheet, sitä varmemmin mitoitus onnistuu siten, että piirustuksessa olevat mitat ovat niitä mittoja, joita valmistuksessa sen eri työvaiheissa tarvitaan. (25, s. 54.)



Kun kappaleesta on saatu 3D-mallinnos valmiiksi, pitää se muuttaa 2D-muotoiseksi piirustukseksi ja lisätä siihen mittoja ja muita tietoja, kuten koneistusmerkintöjä ja toleransseja. Mittapiirros on tärkeä osa dokumentointia, sillä mittapiirrokset tuotteista voidaan tulostaa paperille ja arkistoida, tai ne voidaan tallentaa PDF-tiedostoina. (24, s. 19.)

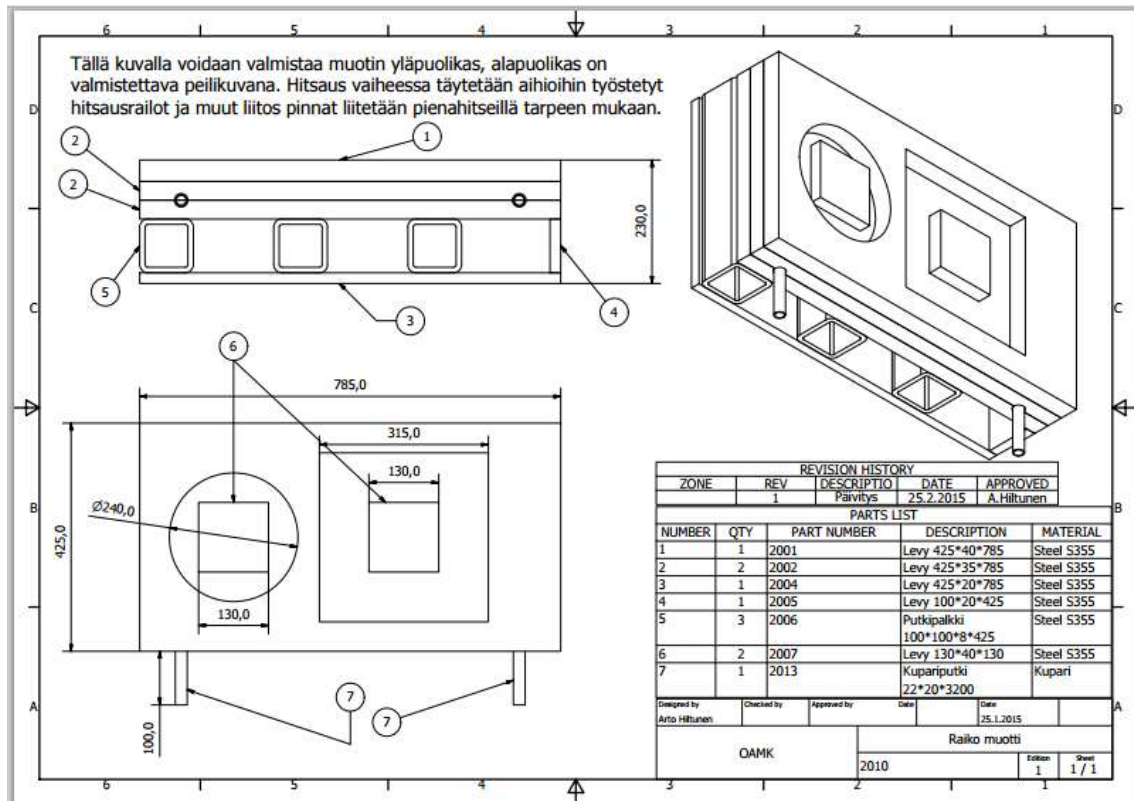
3D-ohjelmissa on tietokentät, joissa on paikat esimerkiksi tekijälle, tarkistajalle, yrityksen nimelle, materiaalille, päivämäärälle, mittasuhteelle ja versiolle. Kuvia tulee yleensä paljon, joten on helpompaa täyttää tietokentät valmiiksi ja tallentaa ne omaksi pohjaksi, jolloin tiedot ovat valmiina paikallaan. Piirrosta tehtäessä ohjelma hakee automaattisesti tiedot kappaleesta ja liittää tiedot tietokenttään, kun kappaleelle on annettu tiedot mallinnus vaiheessa. (24, s. 20.)

Piirustuksen valmistamisen ensimmäisessä vaiheessa lisätään tyhjälle sivulle mallinnettu kappale. Tässä vaiheessa valitaan suunta, mistä kappaletta kuvannetaan eli katsotaan. Kun kappaleen ensimmäinen kuvanto on paikoillaan, voidaan siitä kääntää sivuille, alas, ylös tai kulmiin projektiot. Nämä kuvat esittävät samaa kappaletta, mutta eri suunnista katsottuna. Tarvittavien suuntien määrä riippuu kappaleen monimuotoisuudesta. Esimerkiksi yksinkertainen kappale tarvitsee vain kuvannon edestä, jolloin voidaan saada tarvittavat tiedot kuten: halkaisija, muoto ja pituus selville. Monimuotoisemmasta kappaleesta tarvitaan enemmän suuntia ja mahdollisesti leikkauksia, jotta kaikki mitat saadaan mitoitettua ja näkyville. Valmistuspiirustuksiin lisätään nykyisin yhä useammin aksonometrinen eli kolmiulotteinen kuvanto, josta näkyy hyvin kappaleen koko muoto. Kolmiulotteisen kuvannon toteuttaminen on helppoa nykyisen tietotekniikan avustuksella. Mitoituksen lähtökohtana on, että koneistajan tarvitsee mahdollisimman vähän laskea mittoja, eikä samaa kohtaa ole mitoitettu useampaan kertaan. Mitoituksen olisi hyvä alkaa aina samasta suunnasta kappaletta. (24, s. 20–21.)

Mitoitus toteutetaan mielellään samaan suuntaan, kuin 3D-mallinnoksen akselisto on toteutettu, koska tietokoneohjatuissa työstökoneissa akselistot ovat toteutettu samalla tavalla. Tällä tavalla vähennetään etumerkkivirheiden esiintymistä, koska työstökoordinaatit olisivat työstöohjelmassa näin toimittaessa pääsääntöisesti plusmerkkisiä.

Mitat olisi hyvä ilmoittaa tietystä lähtöpisteestä eikä siten, että mittoja pitää laskea yhteen tietääkseen reiän kohdan mitoituksen lähtöpisteestä. Mittapiirroksiin joudutaan lisäämään useita erilaisia merkintöjä, hitsaussaumojen merkintöjä, koneistusmerkintöjä pinnoille sekä toleransseja mitoille ja yhdensuuntaisuuksille. Kokoonpanosta tehtäviin piirroksiin ei tarvita montaa mitta. Näihin

laitetaan vain muutamia olennaisia mittoja kokonaisuuden toimivuuden kannalta sekä kokoonpanon äärimitat. Tärkeä syy tehdä kokoonpanosta (kuva 5) kuvia on se, että niihin saadaan laadittua kokoonpanojen osaluettelointia. Ohjelma kerää osaluettelotaulukkoon mallinnosvaiheessa osiin tallennetut tiedot. Näitä ovat esimerkiksi, massa, materiaali, pintakäsittely, toimittaja ja niin edelleen. Osaluetteloon ohjelma laskee määrän, kuinka monta kutakin osaa kokoonpanossa on. (24, s. 20–21.)



KUVA 5. Muotinpuolikkaan hitsauskokoonpano osaluettelointeen

## 6 RUISKUVALUMUOTIT

Muotti on ruiskuvalukoneeseen asennettava työkalu, joka on sisäosaltaan ruiskuvalettavan kappaleen muotoinen, ja se antaa valettavalle kappaleelle lopulliset muodot (26, s. 336). Ruiskuvalumuotti muodostuu yksinkertaisimmillaan kahdesta osasta, jotka ovat kiinnitettävissä ruiskuvalukoneen muottipöytiin. Nämä kaksi osaa, kiinteä muottipuolikas ja liikkuva muottipuolikas, löytyvät jokaisesta ruiskuvalumuotista. Näitä osia voidaan kutsua myös koiras- ja naarasmuottipuolikkaiksi. (26, s. 113.)

Muoteille asetettavat vaatimukset riippuvat pääasiassa valmistettavan tuotteen valmistustekniikasta, ja sen valmistukseen käytettävistä raaka-aineista, tuotantomäärästä sekä tuotteelle asetettavista laatuvaatimuksista. Valmistusteknisistä vaatimuksista monet ovat ehdottomia. Tällaisia ovat esimerkiksi muotin kiinnitettävyyden ja lämmitettävyyden asettamat vaatimukset. Valmistustekniikka asettaa myös muotin muodolle rajoituksia. Tuotannon määrä määrittelee muotin kestävyysvaatimuksia. Raaka-aineista ja tuotantotavoista riippuvat tuotteen valmistuksessa tarvittavat paineet ja lämpötilat, jotka muotin on kestävä. Laadullisista tekijöistä tärkeimpiä ovat vaatimukset pinnanlaadusta ja mittatarkkuudesta. Muottien asettamat vaatimukset pyritään toteuttamaan mahdollisimman alhaisin kustannuksin, lisäksi muotti on suunniteltava myös tuotantoystävälliseksi. (27, s. 228.)

Polyuretaanikappaleita valmistetaan monilla erilaisilla muoteilla. Muotin valinta riippuu valmistusmenetelmästä, sarjakoosta, ja valmistajasta. Teräsmuotit ovat kalliita ja hyviä suurten sarjojen muotteja, niitä on tyypillisesti käytetty RIM-tekniikassa. Alumiinimuotteja käytetään esimerkiksi kovauretaanin valmistukseen, ja ne ovat hieman edullisempia kuin teräksestä valmistetut. Epoksimuotit toimivat pehmeän integraaliuretaanin valmistuksessa. Pehmeät, valetut muovimuotit ovat edullisia uretaanielastomeerityökaluja. Silikonimuotteja voidaan käyttää lähinnä protomuotteina. (28.) Ruiskuvalumuotteja voidaan valmistaa myös 3D-tulostustekniikalla.

Ruiskuvalumuottien valmistukseen on käytetty lukuisia eri teräksiä, valintaan vaikuttavat esimerkiksi sarjakoko, haluttu pinnanlaatu ja valettava materiaali. Erityisesti proto- ja piensarjamuotteja on valmistettu alumiiniseoksista. Näiden etuna on nopeampi ja helpompi työstettävyys, keveys ja lämmönjohtavuus, mutta esimerkiksi kuitulujitettuja muoveja valettaessa voi esiintyä merkittävää kulumaa jo melko pienissä sarjoissa. (19.)

Muottimateriaalin pitää olla kiillotettavissa tai päällystettävissä irrotusta helpottavalla pinnoitteella. Materiaalin ominaisuusvaateisiin kuuluu myös mittatarkkuuden säilyttäminen. Muotin ylä- ja alapuoliskot kiinni ollessaan muodostavat valmistettavan lopputuotteen muodot. Niiden tulee säilyttää mittatarkkuutensa myös prosessisykliä aikana vaikuttavien paineiden alaisena. Muottien tulee kestää 100 000 – 500 000 tuotantosykliä. Tällaisiin tuotantomääriin päästään yleensä vain metallimuotteja käyttämällä. (29, s. 18.)

Työväline palvelee valmistustekniikkaa, työvälineen vaatimukset on asetettava etusijalle ja siten suunnittelun yhdeksi lähtökohdaksi. Työvälineen suunnittelu on hyvä aloittaa tutustumalla työkappaleen valmistusmenetelmään, mieluiten käytännön valmistusosastolla. (17, s. 14.)

Muotin valmistuksen käytetyin mittari on muotin hinta. Hinta ei kerro koko totuutta muotin edullisuudesta. Pieniä sarjoja valmistettaessa muotin kustannukset korostuvat, mutta sarjakoon kasvaessa kustannusten vaikutus kokonaisuuteen vähenee. Suuria sarjoja tehtäessä tuotantokustannukset nousevat merkittävämpään asemaan. Muotin laatua määritellessä arvioinnin pitää siis koostua valmistuskriteereiden lisäksi myös muotin toimivuudesta tuotannossa, silloin saadaan tarkempi näkemys muotin todellisesta laadusta. (29.) Yksittäisvalmisteena valmistettava muotti on aina jossain suhteessa prototyyppi, joten on valmistauduttava, että sitä joudutaan ainakin alussa kokeilemaan ja parantelemaan (17, s. 14).

## 7 MUOTINSUUNNITTELUN YKSITYSKOHDAT JA RATKAISUT

Opinnäytetyön aiheen sain tuotantopäällikkönä Sah-Ko Oy:llä toimivalta Tero Jurvakaiselta. Tero on työskennellyt aiemmin Hydnumilla, ja hänelle polyuretaanituotteiden valmistus RIM-tekniikalla ja siinä käytettävät muotit olivat tuttuja, joten häneltä sain hyvin lähtötietoja aiheesta. Tutustuimme Sah-Ko Oy:ssä käytettävissä oleviin toimitiloihin, tuotantolaitteisiin ja työmenetelmiin. Tutustuimme myös Hydnumilla käytössä oleviin ruiskuvalukoneisiin, ja heillä käytössä oleviin muotteihin erillisen yritysvierailun merkeissä. Yritysvierailulla kartoitimme muottien perusrakenteita ja lähtötietoja sekä mitä ominaisuuksia muotissa täytyy olla. Sain mukaani yrityksessä käytössä olevan jälkisekoittimen osat, joille varasin paikat muottien puolikkaisiin.

Muotin kokonaiskorkeus pitää olla minimissään 400 mm, koska muottipöytien liikealueet eivät salli pienempää muotin paksuutta. Muotissa valmistetaan kahta erilaista tuotetta. Tuotteista toinen on neliön muotoinen kappale, jonka paksuus on 100 millimetriä. Toinen on pyöreän muotoinen kappale, jonka paksuus on 80 millimetriä. Kummallekin kappaleelle on valmistettava oma pesänsä muottiin. Tiivistyspintojen leveydet Hydnum Oy:ssä käytössä olevissa muoteissa ovat noin 25 millimetriä. Muotteja lämmitetään nestekiertoisella lämmityksellä. Pikaliittimet sijaitsevat koneenkäyttäjältä katsottaessa vastakkaisella puolella.

Jakotason sijoituskohdaksi valittiin muotin keskilinja, jolloin saatiin symmetriset pesänpuolikkaat, tällöin muotin valmistus sekä tuotteen poistaminen muotista pitäisi olla vaivattominta. Muottipesien pohjiin sijoitettiin kierrereikiä, joihin voidaan kiinnittää keernoja. Keernojen avulla voidaan tehdä onkaloita, jolloin voidaan päästä raaka-ainesäätöihin tai muokata valoksen ominaisuuksia parhaan lujuuden saavuttamiseksi.

Muotti tulisi pystyä nostamaan ruiskupuristuskoneeseen trukin avulla. Ennen mallintamista suunnittelun luonnostelu tapahtui paperille, ratkaisut piirrettiin paperille, ja tutkittiin, onko kyseinen tapaus mahdollinen. Hahmotelmat antoivat suunnan muotin suunnittelulle. Muotin rakenteellisessa suunnittelussa konsultoi tuotantoinsinööri Antti Lassila Hydnum Oy:stä.

### 7.1 Kulutuskestävyys ja lujuustarkastelu

Sarjatuotantomuotin tulee kestää useita vuosia ja satoja tuhansia käyttökertoja. Muotin sisällä virtaava nestemäinen polyuretaani kuluttaa muottia, mutta muotin pinnasta ei saa irrota materiaalia kappaleeseen. Kuluminen on suurimmillaan syöttökanavan läheisyydessä, missä virtausnopeus on suurimmillaan. Virtauksesta aiheutuvaa kulumista voidaan vähentää, kun sijoitetaan syöttökanava sellaiseen kohtaan, mistä polyuretaaniseos pääsee mahdollisimman esteettömästi virtaamaan muottiin. (20, s. 17.)

Muottia kuluttaa polyuretaanin virtauksen lisäksi myös tuotteen poisto. Muotista tuotetta irrotettaessa, muottiin kiinnittynyt polyuretaani pyrkii irrottamaan muotin pinnasta materiaalia. Tuotteen irrotuksesta aiheutuva kuluminen on vähäistä, mutta tuhansien irrotuskertojen jälkeen kulumista voi olla havaittavissa. Kiinnittymistä voidaan ehkäistä muottipinnoille levitettävällä irrotusaineella. (20, s. 17–18.) Muotin materiaaliksi valittiin rakenneteräs S355, joka soveltuu kyseiseen kohteeseen hyvin ominaisuuksiensa vuoksi.

Yksi Hydnum Oy:ssä käytössä ollut muotin muotinrunko oli valmistettu 5 mm:n seinämällä olleesta 100\*100 rhs palkista, jonka lujuus oli ollut hieman riittämätön ja rakenteita oli jouduttu vahvistamaan tukirivoilla. Tämän takia mitoitimme tämän muotin runkorakenteen tehtäväksi 8 mm seinämävahvuudella olevalla rhs palkista, jolloin lujuus on todennäköisesti riittävä ilman tukiripojakin, mutta niitä voidaan lisätä mikäli siihen ilmenee tarvetta. Lujuustarkastelua voidaan tehdä tarkastelemalla jo käytössä toimiviksi havaittuja rakenteita sekä toteuttaa rakenne samanlaisena tai tarvittaessa paremmin kuormitusta kestäväenä.

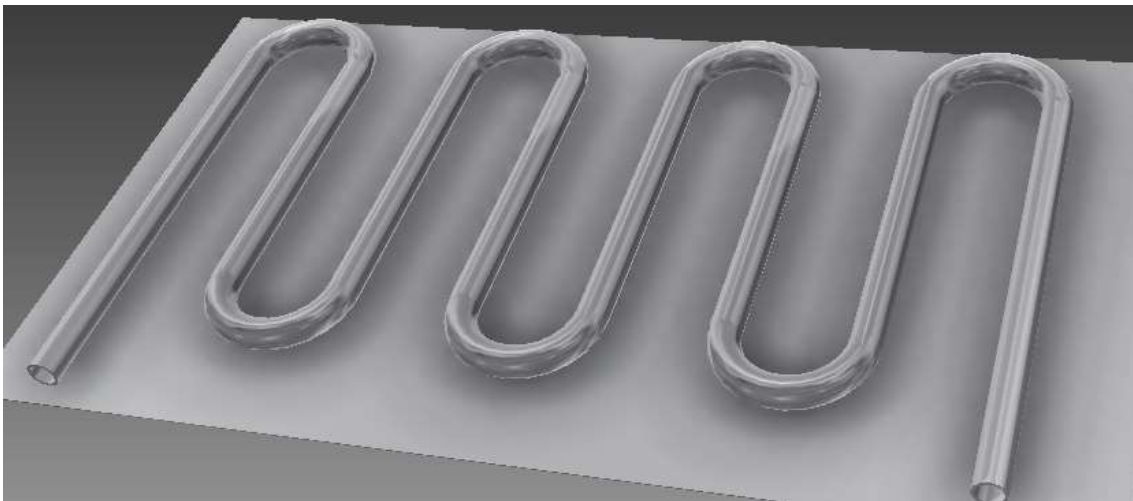
## **7.2 Lämmönhallinta**

Tuotteen valmistuksessa käytettävän seoksen optimaalinen lämpötila on noin 50 °C valmistusprosessin aikana. Lämpötilaa hallitaan raaka-aineiden lämmityksen lisäksi myös muottia lämmitämällä. Muotin lämpötilaa voidaan säätää sähköisillä lämmityselementeillä tai muotissa kiertävän nesteen avustuksella. Sarjatuotantomuotin jatkuva käyttölämpötila on noin 50 °C, ja yleisin muotin lämmitystapana on nestekierto. (20, s. 17.)

Muotteihin valmistetaan lähes poikkeuksetta temperointi- eli lämmönsäätökanavisto. Kanavistoja nimitetään usein jäähdytyskanavistoiksi, mutta se ei ole aivan tarkka kuvaus, sillä muotin lämmönsäätö on usein lämmittämistä. Kanavistojen pääasiallisena tavoitteena on pitää lämpötila tasaisena koko muotin alueella. Proto- ja piensarjamuoteissa, joissa ruiskuvalujakson pituus ei

ole määräävä tekijä käytetään hyvinkin yksinkertaisia kanavistoja. (30, s. 21.) Hydnum Oy:ssä käytetään nestelämmityskanavistoilla varustettuja muotteja joten se oli looginen ratkaisu myös tässä tapauksessa.

Lämmityskanaviston rakenteessa päädyttiin kylmälaitteiden lauhdutusjärjestelmissä yleisesti löytyvään muotoon. Lämmitysputkistolle (kuva 6) päästään tekemään kanaviston CNC-jyrsimellä kahden levyn liitospintaan ennen muotin levyjen yhteen liittämistä. Kanaviston sisälle täytyy sijoittaa kupariputki, jolloin vältymme korroosio-ongelmista jäähdytysjärjestelmässä.



KUVA 6. Jäähdytyskanaviston kupariputken 3D-mallinnos

### 7.3 Muotin muotoilu

Muovituotteiden muotoilussa pätevät monet samat säännöt kuin metallien valussa, etenkin painealussa. On erittäin tärkeää muotoilla muotti niin, että plastisoitunut muovimassa pääsee virtaamaan etäisimpiinkin sopukoihin, jolloin ilma poistuu samalla muotista. Tämä pakottaa kiinnittämään huomiota muottionkalon mahdollisimman jouheaan muotoon. (17, s. 283.)

Muoteista valmistetaan myös monikammimuotteja, silloin yhdestä muotista saadaan useampia tuotteita yhdellä tuotantosyklillä (29, s. 10). Monipesämuotissa kaikkien työkappaleiden tulisi olla samanlaisia. Tehtäessä erikokoisia työkappaleita, sijoitetaan suuret osat lähimmäksi syöttöporttia (17, s. 296). Syöttöportti eli ruiskutuskohta pyritään sijoittamaan tuotteen paksuimpaan kohtaan. Siinä massa pysyy kauimmin nestemäisenä, ja pitopaineen vaikutus on paras. Portin paikkaan vaikuttavat myös muotin nopean täyttymisen vaatimus ja ulkonäköseikat. Lisäksi syöttöportti pyri-

tään sijoittamaan niin, ettei valokseen syntyisi eri suunnista tulevien virtausten kylmäjuoksu-saumoja. (17, s. 284.)

Yrityksellä on tavoitteena valmistuttaa kahta erilaista polyuretaani kappaletta, joten kummallekin kappaleelle tehtiin omat tilat samaan muottiin. Pyöreää kappaletta tarvitaan hieman pienempiä kappalemääriä, joten pyöreän kappaleen sijoituspaikka on kauempana ruiskutuskohdasta, ja muottionkaloiden välissä oleva kanava on tarpeen vaatiessa suljettavissa.

#### **7.4 Päästöt ja kulmat**

Muotin avautumisliikkeen suuntaisiin pintoihin on suunniteltava ja toteutettava puristeen irtoamis-ta helpottavaa päästöä, mielellään kappaleen sisä- sekä ulkopintoihin. Päästön suuruus vaihtelee raaka-aineen mukaan tavallisesti  $0,25^{\circ} \dots 2^{\circ}$ . Korkeille kohdille päästö tulisi valita pieneksi, jotta seinämänpaksuus ei muuttuisi liikaa. (17, s. 285.) Suunnittelussa tulisi välttää teräviä nurkkia sekä rasitukselle alttiita muotoja. Muottien kaikissa kulmissa tulisi olla säteeltään vähintään 3 mm:n pyöristykset tehokkaamman täytön ja paremman irtoamisen vuoksi. (29, s. 9.) Valitsimme päästöarvoksi mahdollisimman suuren päästöarvon, koska pidimme todennäköisenä, että kappaleiden irrottaminen muotista olisi haastavaa, ja suuri päästö helpottaisi toimenpidettä.

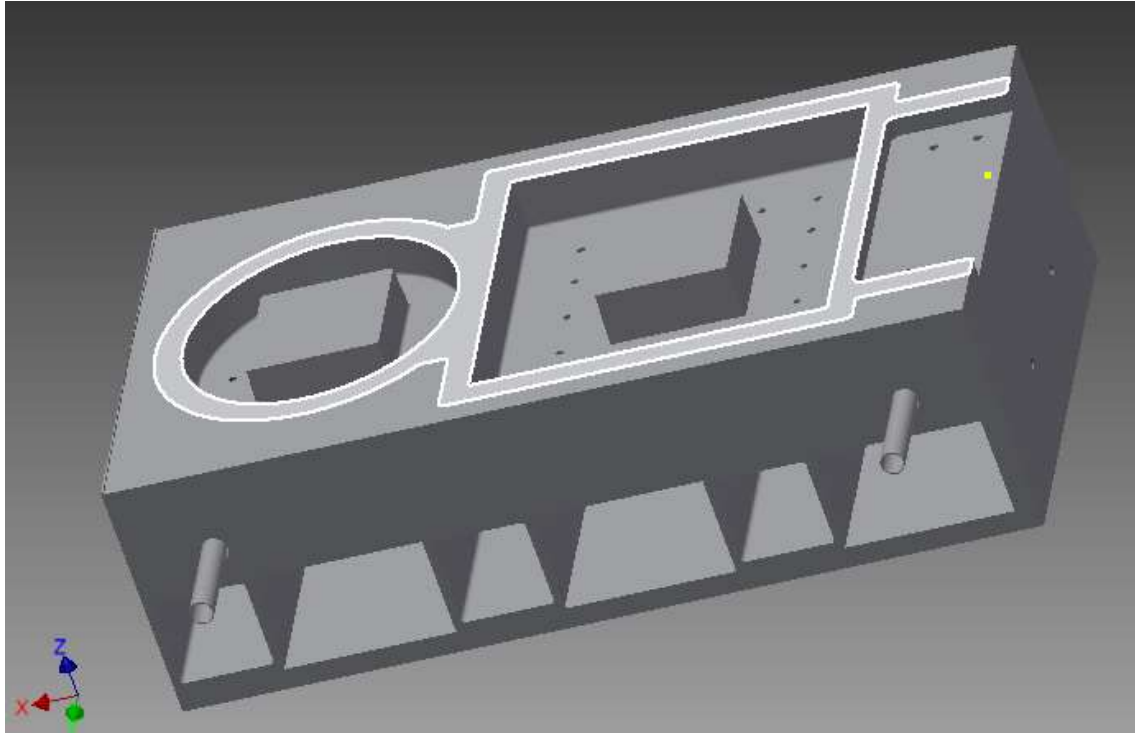
#### **7.5 Jakotaso**

Jakotaso on taso, jonka kohdalta ruiskuvalumuotti avautuu. (26, s. 333.) Muottipuolikkaiden väli-seen rajapintaan muodostuva jakotaso on sijoitettava niin, että puristeet voidaan poistaa muotista vaivattomasti ja niin, että ulkonäöllisesti puristeelle aiheutuisi mahdollisemman vähän haittaa. Jakotaso saattaa paikoin rakoilla, jonka seurauksena syntynyt purse pitäisi olla helposti poistetta-vissa. (17, s. 284–285, 294.)

Muottipesän täyttämisen aikana muovimassa syrjäyttää tieltään sen ilmamäärän, joka muotti-pesässä on. Mikäli kaasunpoistokanavia ei tehdä, kaasu eli ilma pyrkii ulos muottipuolikkaiden välisestä jakotasosta. Muottionkaloon voi syntyä ilmatasku huonon kaasunpoiston tai muotin epä-tasaisen täyttymisen johdosta. (26, s. 333.)



Muottisuunnittelussa on olennaista pyrkiä toteuttamaan muottipuoliskojen liitospintojen hallittu tiiveys. Tiivistys voidaan toteuttaa tiivistysalueella (kuva 7). Kaasunpoistoa hallitaan jakotasoon työstettävillä kanavilla, joita ruiskuvalaja tekee tarpeen mukaan. (27, s. 234.)



KUVA 7. Muottipuolikas, jossa jakotasossa sijaitseva tiivistysalue näkyy korostettuna

## 7.6 Muottipuolikkaiden ohjaus ja kiinnitys valukoneeseen

Muottipuolikkaiden osat, jotka liikkuvat muotin avaamisen ja sulkemisen aikana, on keskitettävä riittävän tarkasti toisiinsa nähden ohjauselementeillä (26, s. 114). Ohjauselementit voidaan sijoittaa joko liitettävien ja ohjattavien kappaleiden otsapinnoille (kuva 8) tai sivupinnoille (kuva 9).

## Zentrierführungen N 065

## Guidage de centrage N 065

Untereinander austauschbar

Interchangeable

**Werkstoff:**

Stahl 1.7139, 60 HRC

**Matière:**

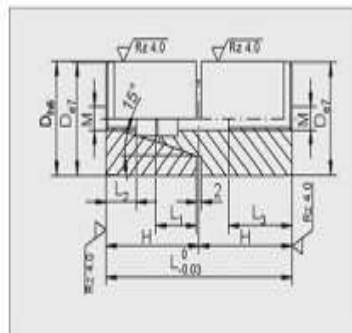
Acier 1.7139, 60 HRC

**Bestellbeispiel:**

**Exemple de commande:**

0117 65 12

D



Artikelnummer No d'article	D	L <sub>1</sub>	L <sub>2</sub>	M	L <sub>3</sub>	H	L
0117 6512	12	5	8,5	M4	9,6	17	34
0117 6514	14	7	6	M5	12,4		
0117 6516	16						
0117 6520	20	10	10,5	M8	19,7	27	54
0117 6525	25	11	9,0				

Artikelnummer No d'article	D	L <sub>1</sub>	L <sub>2</sub>	M	L <sub>3</sub>	H	L
0117 6526	26	11	9,0	M8	19,7	27	54
0117 6530	30	16	12,2	M10	25	36	72
0117 6532	32						
0117 6542	42	20	16,5		27	46	92

KUVA 8. Muottipuolikkaiden otsapinnoille kiinnitettävät ohjauselementit (33, s. 70.)

## Zentrierungen mit Feinstpassung

wartungsfrei durch Beschichtung

## Éléments de pré- positionnement

autolubrifiant grace au revêtement

**Werkstoff:** Stahl 1.7131

**Härte:** siehe Zeichnung

L Wartungsfreie Beschichtung.

Bitte fordern Sie hierzu  
weitere Informationen an!

b Feinstpassung

b1 Feinstpassung

**Matière:** Acier 1.7131

**Dureté:** voir dessin

L Revêtement sans entretien.

N'hésitez pas à demander  
plus d'informations  
à ce propos!

b ajustement fin

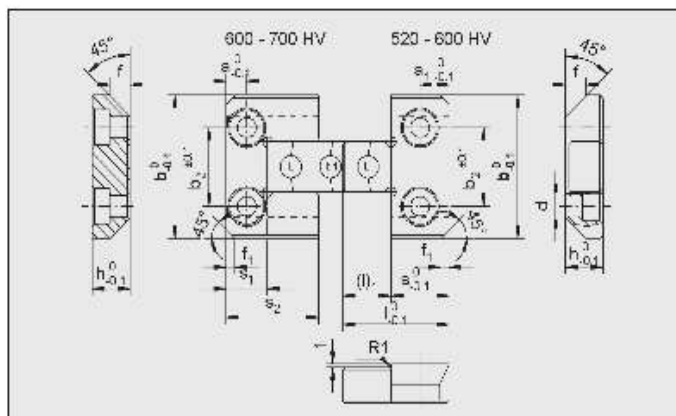
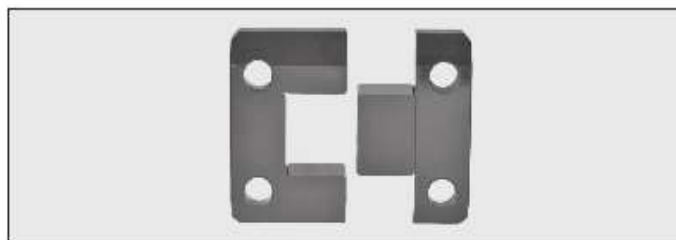
b1 ajustement très fin

**Bestellbeispiel:**

**Exemple de commande:**

01192 040

b



Artikelnummer No d'article	b	a	a <sub>1</sub>	b <sub>1</sub>	b <sub>2</sub>	d	f	f <sub>1</sub>	h	l	(l <sub>1</sub> )	s	s <sub>1</sub>	s <sub>2</sub>	≤R
0119 2040	40	8,0	8,5	14,0	22	M 5	8,5 x 45°	2,5 x 45°	10,0	31	14	17	12	27	6,5
0119 2050	50	8,5	8,5	20,0	32	M 8	8,5 x 45°	3,0 x 45°	12,5	35	18	17	17	36	6,5
0119 2075	75	11,0	11,0	31,5	45	M10	11,0 x 45°	3,0 x 45°	20,0	45	23	22	22	48	11,0
0119 2100	100	13,5	13,5	40,0	62	M12	13,0 x 45°	5,0 x 45°	25,0	55	28	27	27	58	13,0
0119 2125	125	18,0	18,0	50,0	87	M12	13,0 x 45°	5,0 x 45°	31,5	85	29	36	36	66	13,0

KUVA 9. Muottipuolikkaiden sivupinnoille kiinnitettävät ohjauselementit (34, s. 73.)

Muotin puolikkaat kiinnitetään kiinnitysraudoilla valukoneen muottipöytiin, joten muotinpuolikkaiden pohjalevyjen tulee olla vähintään 20 mm paksuja, ja rakenteen sen muotoinen, että kiinnitysrautoja (kuva 10) voidaan käyttää.



KUVA 10. kiinnitysrادت (31.)

Muotti asennetaan valukoneen puristimeen edestäpäin työskentelysuuntaan nähden. Asennuksen apuna käytetään truckia, ja lopulliselle paikalleen muotti siirretään käsivoimin trukin avustamana. Muotin runko pitää olla muotoiltuna sellaiseksi, että trukinpiikit voivat mennä muotin ”läpi” siirrettäessä muottia trukilla.

### **7.7 Valmistustarkkuus sekä pinnanlaatuvaatimukset ja irrotusaineet**

Suurin hyväksyttävissä oleva mittapoikkeama tuotteessa on noin  $\pm 1$  mm. Tuotteelle asetetut mittatoleranssit saavutetaan, kun muotin valmistusmenetelmä on riittävän tarkka. Tuotteen valmistustarkkuuteen vaikuttaa myös muottikutistuma. Sekä kesto- että kertamuovit kutistuvat muotissa jähmettyessään, ja osakiteiset muovit vielä sen jälkeenkin. Jälkikutistuminen voi jatkua jopa kuukausien ajan. Kutistumisen takia muottionkalo mitoitetaan vastaavasti suuremmaksi kuin lopullinen tuote. Kutistumisen suuruus riippuu useista tekijöistä: raaka-aineista ja raaka-aineseoksen lämpötilasta, pitopaineesta, muotin lämpötilasta, valoksen seinämänpaksuudesta sekä täyteaineiden määrästä ja lajista. Kutistuma voi olla erilainen ruiskutuksen juoksusuuntaan

ja sitä kohtisuoraan suuntaan. (17, s. 285.) Muottipesiä mitoitettaessa on huomioitu muottikutistuma, joka on kokemuseräisesti luokkaa 0,6 % ja se on otettu huomioon muotin mitoituksessa.

Liian sileä pinta muottipesässä aiheuttaa irrotusaineen pysyvyysongelmia, ja liian karhea muottipinta puolestaan peilautuu tuotteisiin. Muotissa saadaan valmistettua kappale, jonka pinnanlaatu on korkeintaan yhtä hyvä kuin muotissa itsessään oleva pinnanlaatu. (27, s. 236.) Irrotusaineen käyttöä on vaikea välttää RIM-tekniikassa käytettäessä suuripintaenergisiä muotteja. Polyuretaaniseos on ominaisuuksiltaan verrattavissa liimaan, joka kiinnittyy tiukasti lähes mihin tahansa pintaan. Polyuretaanin kiinnittymistä muottiin pyritään estämään muotin pinnoille levitettävällä irrotusaineella. (32.)

Irrotusaineen toiminta perustuu muottipinnan pintaenergian pienentämiseen. Kalvomainen pienenerginen irrotusaine muotin pinnalla ehkäisee suuri-energisien polyuretaanin ja muottipinnan kiinnittymistä toisiinsa. Muottipintojen käsittely irrotusaineella on tärkeää, sillä pienikin alueellinen kiinnittyminen voi vaurioittaa muotista irrotettavaa kappaletta, tai kuluttaa muotin pintaa. (10, s. 395.)

Irrotusaineita on saatavissa pastoina, vahoina ja nestemäisinä. Nestemäiset irrotusaineet ovat suosituimpia helpon käytettävyyden vuoksi. Nestemäiset irrotusaineet levittää siveltimellä tai ruiskuttaan muotin pintaan, näin suuretkin käsiteltävät pinnat saadaan käsiteltyä nopeasti ja vaivattomasti. Irrotusaineen valintaan vaikuttavat esimerkiksi muotin materiaalit, kappaleen geometria, käyttölämpötila, kappaleen pinnalle asetetut ominaisuudet ja käsittelyn suorittamiseen käytävissä oleva aika. (10, s. 396.)

Kyseisen muotin valmistuksen suunnittelussa on lähdetty oletuksesta, että koneistamalla pyritään keskikarkeaan pinnanlaatuun. Lopullinen pinnanlaatu muottipesiin valmistetaan käsityömenetelmällä, ja mahdollisesti viimeistellään esimerkiksi raepuhallusmenetelmällä, jolloin saadaan optimaalinen pinnanlaatu taloudellisesti kohteeseen.

## **7.8 Valmistuskustannusten huomioiminen**

Rakenne pyrittiin suunnittelemaan sellaiseksi, että se koostuisi suorista polttoleikatuista levyosista, jotka vaativat mahdollisimman vähän koneistusta tai muuta jälkikäsittelyä. Tällöin tuotteen hinta säilyisi mahdollisimman edullisena. Osien suunnittelussa ja piirtämisessä on useita asioita,

jotka pitää ottaa huomioon: valmistuskustannukset, valmistuksen mahdollisuus, valmiit osto-osat, osien saatavuus, standardiosien käytön maksimointi, kokoamisen mahdollisuus ja helppous sekä osien kestävyys.

Koneistuskustannuksiin vaikuttavat valmistus kuvissa määriteltävät pinnanlaadut. Kyseisessä kohteessa tarkoituksenmukaisinta oli jättää lopullisen pinnanlaadun saavuttaminen tehtäväksi käsityö menetelmillä, ja koneistuksen tavoitetasoksi asetettiin pinnanlaatu, joka on nopeasti ja tehokkaasti saavutettavissa, mutta toisaalta myös minimoitiin käsityönä tehtävän viimeistelyn osuus. Koneistuskustannuksiin vaikuttavat työvarat eli paljonko ainetta tarvitsee poistaa. Liian pienet työvarat johtavat tilanteeseen, jossa kappaletta on haettava tarkemmin oikeaan kohtaan ennen mitoilleen ajoa, joka on usein enemmän aikaa vievää kuin ylimääräisen aineen poisto.

## 8 YHTEENVETO

Tämän opinnäytetyön tavoitteena oli selvittää polyuretaanin ominaisuuksia ja valmistustekniikoita, joilla PUR-tuotteita valmistetaan. Selvitettiin myös, millaisia asioita pitää huomioida, että voidaan suunnitella muotti, jolla voidaan valmistaa aiemmin muovista valmistettuja osia edullisemmin Raiko-polannejäänmurtajaan. Työssä päästiin mielestäni hyvin vaatimusten mukaisiin tavoitteisiin, sillä tällä hetkellä suunnittelusta muotista on valmiina piirustukset, joilla muotti on Sah-Ko Oy:stä löytyvillä resursseilla valmistettavissa ja muotilla polyuretaanituotteet ovat valmistettavissa. Tuotantovaiheessa voi tulla ongelmaksi polyuretaanituotteen irrottaminen muotista. Kyseinen muotti on suunniteltu valmistettavaksi teräksestä, joten on mahdollista pinnoittaa muottipesät erilaisilla irrottamista helpottavilla ja kestävyyttä parantavilla pinnoitteilla, esimerkiksi teflonilla. Tällaisten pinnoitemateriaalien ja pinnoitusmenetelmien tutkiminen voisi olla toisen tutkimistyön aihe.

Itse opinnäytetyö ja työn aihe olivat mielenkiintoisia ja antoisia, sillä työn aikana on saanut oppia uusia asioita monelta eri tuotteen suunnittelun, mallinnuksen ja valmistettavuuden alueelta. Työ oli mielestäni tarpeeksi laaja. Haastavan työstä teki esimerkiksi se, ettei koulutukseemme sisällynyt oppijaksoja muoviteollisuudesta. Työn suurimmaksi hyödyksi katson tutustumisen suunnitteluprojekteihin käytännön työympäristössä sen omine haasteineen.

Tietojen kerääminen aiheesta oli haastavaa kirjallisten aineistojen rajallisuuden vuoksi. Kirjallisten aineistojen saatavuus heikkeni vielä entisestään, kun Raahen kampus ajettiin alas ja kirjastopalveluja oli saatavilla vain Oulussa. Raahen kaupungin kirjastossa on hyvin vähän metallialan kirjallisuutta, vaikka Raahen on tunnettu metalliteollisuudestaan. Mielestäni työ oli hyödyllinen ja lopputulos asetettujen tavoitteiden mukainen.

## LÄHTEET

1. Yritys. Sah-Ko Oy. Saatavissa: <http://www.sah-ko.fi/fi/yritys.html>. Hakupäivä 16.10.2014.
2. Hyviä uutisia ja menestystarinoita elinkeinoelämästä. Hydnumin matot sisustavat ajoneuvon ohjaamon. 19.4.2011. Profillimedia. Oulu Media Oy. Saatavissa: <http://www.profillimedia.fi/?s=hydnum>. Hakupäivä 17.10.2014.
3. Raiko – kustannustehokkain jään ja polanteen poistaja. Raiko-polannemurtaja lisää turvallisuutta liikenteeseen. Tuotteet. Raiko-polannemurtajat. Sah-Ko Oy. Saatavissa: <http://www.sah-ko.fi/fi/tuotteet/raiko-polannemurtajat.html>. Hakupäivä 5.3.2015.
4. Järvinen, Pasi 2000. Muovin Suomalainen käsikirja. Porvoo: WS Bookwell.
5. Polyuretaani-elastomeeri on ensiluokkainen pinnoitemateriaali. Tutkimus ja kehitys. PU-elastomeerit. Ravelast polymers. Saatavissa: <http://www.ravelast.com/tutkimus-ja-kehitys/pu-elastomeerit.html>. Hakupäivä 2.11.2014.
6. Hipp, Atte 2006. Polyuretaanin valmistus ja siihen liittyvät ongelmat. Tutkintotyö. Tampereen ammattikorkeakoulu. Kemiantekniikan koulutusohjelma. Saatavissa: <https://www.theseus.fi/bitstream/handle/10024/8621/TMP.objres.961.pdf?sequence=2>. Hakupäivä 2.11.2014.
7. Pur tekniset tiedot. PUR-polyuretaani tekniset tiedot. Tuotteet. Vink. Saatavissa: [http://www.tuotteet.vink.fi/media/tuotteet/pur/vink\\_pur\\_esite\\_a4\\_web.pdf](http://www.tuotteet.vink.fi/media/tuotteet/pur/vink_pur_esite_a4_web.pdf). Hakupäivä 3.12.2014.
8. Sandwich-paneelit. Rakentaminen. Ruukki. Saatavissa: [www.ruukki.fi/Training/~media/Files/Training/Ruukki-Sandwich Paneelit - Peruskoulutus - Suomi.ashx](http://www.ruukki.fi/Training/~media/Files/Training/Ruukki-Sandwich_Paneelit_-_Peruskoulutus_-_Suomi.ashx). Hakupäivä 3.12.2014.
9. PUR – Polyuretaani. Tuotteet. Muovityöstö Kivelä. Saatavissa: <http://www.muovityosto.fi/pur-polyuretaani>. Hakupäivä 3.12.2014.

10. Airasmaa, likka – Kokko, Juha – Komppa, Veikko – Saarela, Olli – Skrifvars, Mikael 2007. Komposiittirakenteet. Lahti: Muoviyhdistys ry.

11. Race. Verkkokauppa. Alusta ja jarrut. Puslat, tukivarret & vakaajat. Polyuretaanipuslat. Powerflex puslat. Saatavissa: <http://www.race.fi/fi/product/44833a/powerflex-bushings>. Hakupäivä 17.10.2014.

12. Isosyanaatit, polyuretaanit ja niiden käyttö eri aloilla. 2013. Helsinki: Työterveyslaitos. Saatavissa:

[http://www.ttl.fi/fi/kemikaaliturvallisuus/ainekohtaista\\_kemikaalitietoa/isosyanaatit/isosyanaatit\\_polyuretaanit\\_%20ja\\_niiden\\_k%C3%A4ytt%C3%B6\\_eri\\_aloilla/Sivut/default.aspx](http://www.ttl.fi/fi/kemikaaliturvallisuus/ainekohtaista_kemikaalitietoa/isosyanaatit/isosyanaatit_polyuretaanit_%20ja_niiden_k%C3%A4ytt%C3%B6_eri_aloilla/Sivut/default.aspx). Hakupäivä 12.2.2015.

13. Ainekohtaista kemikaalitietoa. Isosyanaatit. Turvallinen uretaanityö. 2013. Helsinki: Työterveyslaitos. Saatavissa:

[http://www.ttl.fi/fi/kemikaaliturvallisuus/ainekohtaista\\_kemikaalitietoa/isosyanaatit/turvallinen\\_isosyanaattity%C3%B6/Sivut/default.aspx](http://www.ttl.fi/fi/kemikaaliturvallisuus/ainekohtaista_kemikaalitietoa/isosyanaatit/turvallinen_isosyanaattity%C3%B6/Sivut/default.aspx). Hakupäivä 12.2.2015.

14. Nelo, Mikko 2005. Kovan polyuretaanivaahdon kierrätys. Sytrim-projektin raportti 2/2005. Oulu: Oulun yliopisto. Saatavissa: [www.kotu oulu.fi/sytrim/doc/polyuretaani.doc](http://www.kotu oulu.fi/sytrim/doc/polyuretaani.doc). Hakupäivä 12.2.2015.

15. Uretaanimenetelmät. 2011. Muovimuotoilu. Saatavissa: <http://www.muovimuotoilu.fi/content/view/49/82/>. Hakupäivä 15.11.2014.

16. Bayer Material Science. 2008. Engineering Polyurethanes - RIM Part and Mold Design Guide. Saatavissa: <http://exothermic.com/wp-content/uploads/2014/09/RIM-Mold-and-Part-Design-Guide.pdf>. Hakupäivä 2.11.2014.

17. Aunio, Mikko – Kettunen, Ensio – Kääriä, Hannu – Niinimäki, Matti – Riski, Paavo. 1989. Työvälinesuunnittelu. Helsinki: Valtion painatuskeskus. Ammattikasvatusthallitus.



18. George, Harry. Design World. Design World Articles. RIM Techniques Make Pretty Plastic Parts. Saatavissa: <http://www.designworldonline.com/rim-techniques-make-pretty-plastic-parts>. Hakupäivä 29.3.2015.
19. Valun suunnittelutekniikka. 19. muotin valujärjestelmä. Valuatlas. Oppimateriaalit. Saatavissa: [http://www.valuatlas.fi/tietomat/docs/PN\\_valun suunnittelu\\_19.pdf](http://www.valuatlas.fi/tietomat/docs/PN_valun suunnittelu_19.pdf). Hakupäivä 14.3.2015.
20. Annunen, Timo 2012. Selvitys pikavalmistuksen käytöstä protomuottivalmistuksessa. Opinnäytetyö. Oulun seudun ammattikorkeakoulu. Kone- ja tuotantotekniikan koulutusohjelma. Saatavissa: [https://www.theseus.fi/bitstream/handle/10024/43769/Annunen\\_Timo.pdf?sequence=1](https://www.theseus.fi/bitstream/handle/10024/43769/Annunen_Timo.pdf?sequence=1). Hakupäivä 12.2.2015.
21. Pahl, Gerhard – Beitz, Wolfgang 1992. Koneensuunnitteluoppi. 2., korjattu painos. Porvoo: WSOY:n graafiset laitokset.
22. Mallintaminen. Wikipedia. 2015. Saatavissa: <http://fi.wikipedia.org/wiki/Mallintaminen>. Hakupäivä 15.1.2015.
23. Tuhola, Esa – Viitanen, Kristiina 2008. 3D-mallintaminen suunnittelun apuvälineenä. Jyväskylä: Tammertekniikka.
24. Välimäki, Jussi 2013. 3D-suunnittelu automaatiotekniikassa. Metropolia Ammattikorkeakoulu. Automaatiotekniikka. Opinnäytetyö. Saatavissa: <https://www.theseus.fi/bitstream/handle/10024/60638/Jussi%20insinööri%203D%20suunnittelu%20automaatiotekniikassa.pdf?sequence=1>. Hakupäivä 9.1.2015.
25. Pere, Aimo 2004. Koneenpiirustus korkeakouluja varten. 3. painos. Espoo: Kirpe Oy.
26. Järvelä, Pentti – Syrjälä, Kai – Vastela, Martti 2000. Ruiskuvalu. Tampere: Plastdata OY
27. Airasmaa, Ilkka – Johansson, Carl-Johan – Kokko, Juha – Komppa, Veikko – Linkoaho, Pertti – Piltz, Aarno – Saarela, Olli. 1984. Lujitemuovitekniikka. Hämeenlinna: Arvi A. Karisto Oy:n kirjapaino.

28. Ruiskuvalumuotit. Muovimuotoilu. Saatavissa: <http://www.muovimuotoilu.fi/content/view/115/159/>. Hakupäivä 13.12.2014.
29. Pohjola, Miika 2013. Muotin suunnittelu- ja valmistusprosessi solumuoviteollisuudessa. Turun Ammattikorkeakoulu. Kone- ja tuotantotekniikan koulutusohjelma. Opinnäytetyö. Saatavissa: [https://www.theseus.fi/bitstream/handle/10024/62419/Pohjola\\_Miika.pdf?sequence=1](https://www.theseus.fi/bitstream/handle/10024/62419/Pohjola_Miika.pdf?sequence=1). Hakupäivä 4.2.2015.
30. Elonen, Timo 2013. Ruiskuvaletun kestopuovikomposiitin soveltuvuus Formula Student - kilpa-auton alustarakenteisiin. Metropolia Ammattikorkeakoulu. Auto- ja kuljetustekniikka. Insinöörityö. Saatavissa: <https://www.theseus.fi/handle/10024/65161>. Hakupäivä 4.4.2015.
31. Teräskonttori. Tuotevalikoima. Työkalut. Kiinnittimet. Työkappaleen kiinnittimet. Clamps+Bolts. Saatavissa: [http://www.teraskonttori.fi/easydata/customers/teraskonttori/files/pdf-dokumentit/amf-standard-clamping-elements-2013-sivut19-54\\_83-105-2web.pdf](http://www.teraskonttori.fi/easydata/customers/teraskonttori/files/pdf-dokumentit/amf-standard-clamping-elements-2013-sivut19-54_83-105-2web.pdf). Hakupäivä 6.3.2015.
32. Jurvakainen, Tero. Tuotantopäällikkö, Sah-Ko Oy. Keskustelu 30.9.2014.
33. Stutzbolzen N 16. Ramseier Normalien. Saatavissa: [http://ramseier.rz1-linz.net/onlinekatalog\\_at/#/70/zoomed](http://ramseier.rz1-linz.net/onlinekatalog_at/#/70/zoomed). Hakupäivä 15.4.2015.
34. Zentrierungen mit Feinstpassung. Ramseier Normalien. Saatavissa: [http://ramseier.rz1-linz.net/onlinekatalog\\_at/#/73/zoomed](http://ramseier.rz1-linz.net/onlinekatalog_at/#/73/zoomed). Hakupäivä 15.4.2015.